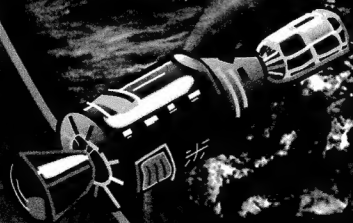


الأقمار الصناعية والملاحة الإلكترونية

تأليف الدكتور
رفعت رشاد



الأقمار الصناعية والملاحة الإلكترونية

Satellites and Electronic Navigation

تأليف
د. رفعت رشاد

التوزيع
مكتبة المعارف
جلال حزي وشركاه
الإسكندرية

تقديم

تقدمت الألفية الثالثة بتكنولوجيات تطورت كثيراً في الحقبة الأخيرة من الألفية الثانية ولدينا معطيات وثوابت قوية ترسم لنا معالم الطريق الذي يسلكه الإنسان في مجال تكنولوجيا المعلومات وتحديد الموقع وعالم الاتصالات.

وعلم الملاحة شأنها شأن باقي العلوم التطبيقية التي تأثرت من المعطيات العلمية وأثرت عليها لتزيد من إبداعاتها وتوسيع دائرة استخداماتها لتشمل جوانب عديدة من الحياة العملية. وإذ نذكر فنون الملاحة السائدة في أوائل القرن الذي ودعناه نجدها فاصرة على الملاحة البحرية في تحديد المكان والانتقال إلى مكان آخر بسلامة... وسرعان ما انتقلت الملاحة إلى الطيران الذي تسار بالملاحة البحرية وأقام لنفسه قصوراً في تكنولوجيا الملاحة الجوية ثم بزغ عصر الفضاء والذي واكبته ملاحة الفضاء والتلفل بين كواكب المجموعة الشمسية ثم عادت بنا الملاحة إلى الأرض وعرفنا وشاهدنا الملاحة في المدن والتنقل من شارع لآخر ومن نقطة إلى نقطة بنظم دقيقة أثبتت جدواها واستخدمت نظم تحديد الموقع في أعمال المساحة لتحديد موقع محطات الإسناد بدقة لم تكن نلحظ بها منذ سنوات قليلة وأصبح تحديد المواقع بدقة سمة كل الأعمال الديناميكية منها أو الاستاتيكية في استخراج البترول وتحديد إحداثيات المنشآت المعمارية وتحديد محاور الطرق والكبارى ثم الملاحة في الصحراء والتي دعمت العمليات الحربية البرية وسباقات الرالى الأرضية والريجات البحرية. وهينئاً للملاحين التي لم تعد قضية

تحديد الموقع تشغل بالهم بقدر ما هو مطلوب منهم تعظيم الكفاءة والسلامة والإدارة.

ونعبر نحن المعاصرون لعبة الانتقال بين الألفيتين إلى عالم جديد يحكمه عاملان أساسيان وثيقا الصلة بالملاحة... أولهما هو تحديد الإحداثيات الفراغية لكل نقطة سواء على سطح الأرض أو بالقرب منها، وثانيهما هو تحقيق الاتصال المباشر سواء للتوابست أو المتحركات. ولقد ساهمت تكنولوجيا الأقمار الصناعية سواء للموقع أو للاتصال في تأكيد دقة الموقع وإيجابية الاتصال.

من هنا نرى أن الألفية الحالية تحمل لنا رياح التكامل بين كل ما أفرزته تكنولوجيا السنوات الماضية، وقد بدأت بتأشيرها بتطوير أنظمة المعلومات والخرائط الإلكترونية (ECDIS) وأنظمة الاتصالات مع أنظمة تحديد الموقع مثل أقمار INMARSAT والتكامل بين الملاقيين الكبيرين في الفضاء GPS الأمريكى وGLONASS الروسى وينضم إليهما EGNOS الأوروبى وGALILIO العالمى، هذه فى البداية، أما النهاية فسوف تتميز فى تصغير حجم وحدات الاستقبال للأنظمة المتكاملة للدرجة التى تساعد الملاح على رؤية ومناولة المعلومات المتاحة وتداول الأجهزة.

وعبودة أخرى للأنظمة الملاحية والتسى هي موضع اهتمام هذا الكتاب، فنرى أن هناك فلوأ وبقايا النظم الإلكترونية التى تعتمد على محطات الإرسال الأرضية ونظريات الهيسربولا ونظام لوران-سى الذى نشك فى تواصله لمدة طويلة خاصة بعد أن تقوم أوروبا بنشر أقمارها الصناعية بنفس الكفاءة والمقدرة التى وضعت بها الولايات

المتحدة الأمريكية أقمارها. لذلك فلسنوات قليلة مقبلة ستظل نظم الملاحة بالهيبربولاء خاصة نظام لوران الأمريكى وشاينا الروسى منفردان أو متكاملان يعملان مع نظم الأقمار الصناعية. ثم تأتى حلقة الأقمار الصناعية والتي نرى فيها نظام الترانزيت الذى توارى بسرعة ولا عجب فى ذلك فإنه قد تم تحويل الاستثمارات فى مجال الفضاء من نظام ترانزيت الذى تم نشره منذ عام ١٩٦٣ إلى نظام GPS الذى بدأ العمل بكامل طاقته منذ عام ١٩٩٣ وهكذا نستعرض فى هذا الكتاب ما تبقى لنا من أنظمة ملاحة أرضية ونركز على الأنظمة الفضائية ونشير فى نهاية الكتاب إلى مفهوم التكامل الملاحى وخصائصه وبعض الأجهزة المستخدمة فى قياس الأعماق والسرعات والتراكى.

وقد راعى كاتب هذه السطور فى عرض الموضوعات التى يتضمنها الكتاب سهولة الشرح واختيار المصطلحات المتداولة بين الملاحين ومنطقية العرض وسرد بعض الأمثلة لزيادة الفهم أو لتأكيد الفكرة. كما راعى المؤلف ما تتطلبه معاهدات التدريب والسلامة البحرية فى الموضوعات التى يجب على الملاحين الإلمام بها.

ويود المؤلف أن يهدى بعض الكلمات لأصدقاء العمر الذين أسهموا بطريقة غير مباشرة فى منهجه العلمى ورحلوا عن دنيانا وهم أحمد أبو سمرة، الفونس صادق وتشارلز كولر وإلى الزملاء والباحثين والدارسين فى مجال الملاحة الإلكترونية مع خالص تمنياته بالنجاح والتوفيق.

الربان الدكتور / رفعت رشاد

المُعرّس

المُعرّس	الموضوع	الصفحة
iii	تقديم	
vii	المُعرّس	
1	الفصل الأول: خصائص الملاحية الإلكترونية	
3	1-1 مقدمة	
4	2-1 تطور الأنظمة الملاحية	
5	3-1 أنواع أنظمة الملاحية الإلكترونية	
7	4-1 عناصر اختيار النظام الملاحى	
10	5-1 جيو مترية القطع الزائد (الهيبريولا)	
13	6-1 معامل تمدد الحارات	
14	7-1 الخرائط الشبكية	
17	الفصل الثاني: خصائص انتشار الموجات الكهرومغناطيسية	
19	1-2 الموجات الكهرومغناطيسية	
20	2-2 الاتصالات اللاسلكية	
23	3-2 الاتصالات التناظرية والرقمية	
24	4-2 مسارات الموجات الكهرومغناطيسية	
29	5-2 أثر الترددات على مسار الموجات	
30	6-2 أثر المناخ على انتشار الموجات الكهرومغناطيسية	
32	7-2 أثر التأين الجوى	
34	8-2 الطيف الترددى	
36	9-2 تشفير (تضمين) وتفسير الإشارات	
38	10-2 الاستقطاب الرأسى والأفقى	

٣٩	الفصل الثالث: مدارات الأقمار الصناعية
٤١	١-٣ تمهيد
٤١	٢-٣ التطور التاريخي لجيوديسيا الأقمار الصناعية
٤٢	٣-٣ الأقمار الصناعية
٤٩	٤-٣ مصادر الطاقة
٥١	٥-٣ العمر الافتراضي للأقمار الصناعية
٥١	٦-٣ دائرة الإسقاط
٥٣	٧-٣ ميل المدار
٥٦	٨-٣ إطلاق الأقمار الصناعية
٦٠	٩-٣ دفع القمر في المدار النهائي
٦١	١٠-٣ الإسقاط على دائرة الأفق
٦٧	الفصل الرابع: الأقمار الصناعية الملاحية
٦٩	١-٤ تمهيد
٧٠	٢-٤ وصف النظام
٨١	٣-٤ الحد من دقة النظام
٨٢	٤-٤ مدارات الأقمار
٨٢	٥-٤ حساب زمن القصر الصناعي وإحداثياته
٨٣	٦-٤ تحديد الموقع
٨٤	٧-٤ المسافة الحسائية (المدى الظاهري)
٩٤	٨-٤ مكونات إشارة نظام GPS
١٠٥	٩-٤ أخطاء وانحرافات نظام GPS
١٢٠	١٠-٤ التميع أو التخفيف في دقة الموقع
١٢٤	١١-٤ نسبة الوقت العامة والخاصة

١٣٧	الفصل الخامس: نظم تحديد المواقع الفرقى DGPS
١٣٩	١-٥ نظرية عمل النظام
١٣٢	٢-٥ العوامل المحددة لاستخدام التصحيح الفرقى
١٣٢	٣-٥ التصحيحات الفرقية
١٣٥	٤-٥ بث التصحيحات الفرقية
١٣٦	٥-٥ الأخطاء التي يصححها النظام الفرقى
١٣٧	٦-٥ الأخطاء التي لا يمكن إزالتها بواسطة بالنظام الفرقى
١٤٠	٧-٥ النظام الفرقى المحلى
١٤٢	٨-٥ النظام الفرقى الواسع المدى
١٤٤	٩-٥ تطبيقات النظام الفرقى
١٤٧	الفصل السادس: أنظمة الملاحة بالأقمار الصناعية الروسية والأوروبية
١٤٩	١-٦ نظام الأقمار الصناعية الروسى
١٥١	٢-٦ النظام الأوروبى للأقمار الصناعية "إجنوس"
١٥٤	٣-٦ نظام الملاحة الأوروبى جاليليو
١٥٩	الفصل السابع: منظومة لوران-سى
١٦١	١-٧ تمهيد
١٦٢	٢-٧ شبكات نظام لوران
١٦٢	٣-٧ نظام الإرسال
١٦٩	٤-٧ معدل تكرار الإشارة
١٧٠	٥-٧ خصائص الترددات فى لوران-سى
١٧٢	٦-٧ قياس فرق الوقت
١٧٤	٧-٧ تميز الإشارات
١٨٠	٨-٧ تصحيح مسار الموجات السماوية
١٨٥	٩-٧ دقة الموقع
١٩٢	١٠-٧ التأثيرات الخارجية

١٩٥	الفصل الثامن: قياس الأعماق بالسون
١٩٧	١-٨ المبادئ العامة لقياس الأعماق
١٩٩	٢-٨ الترددات
٢٠٠	٣-٨ شكل وفترة النبضة
٢٠٥	٤-٨ قياس الزمن وقياس الطور
٢١٠	٥-٨ وحدة الإرسال
٢١٣	٦-٨ المذبذبات
٢٢٠	٧-٨ وحدة البيان والتسجيل
٢٢٤	٨-٨ أخطاء قياس الأعماق
٢٢٨	٩-٨ معايرة جهاز الأعماق
٢٣٤	١٠-٨ قائم الاختبار
٢٣٧	١١-٨ الأصداء الزائلة
٢٤٨	١٢-٨ الأخطاء الذاتية لقياس الأعماق
٢٥١	١٣-٨ أجهزة قياس الأعماق ذات الحزم المتعددة

٢٥٥	الفصل التاسع: علامات السرعة والتراكبي ومجهن الدوران
٢٥٨	١-٩ عداد السرعة الكهرومغناطيسي
٢٦٢	٢-٩ عداد السرعة الضملي
٢٦٥	٣-٩ عداد السرعة الصوتي المضاهي
٢٦٧	٤-٩ عداد السرعة الدوارة
٢٧٦	٥-٩ مساعدات التراكبي على الأرضية
٢٨٠	٦-٩ أجهزة بيان معدل الدوران

الفصل المباشر: تمهيد للاتجاه الاستراتيجي والفرائط الإلكترونية والتكامل للملاح

٢٨٥

١-١٠ محدد الاتجاه الاستراتيجي ٢٨٧

٢-١٠ التكامل في الأنظمة الملاحية ٣٠٤

٣-١٠ نظام خرائط المعلومات الإلكترونية ٣١٣

٤-١٠ نظام التعرف الآلي (AIS) ٣٢٤

٥-١٠ نظام المعلومات الجغرافي ٣٢٥

المراجع ٣٢٧

قائمة الملتصقات ٣٢٩

الفصل الأول

خصائص الملاحة الإلكترونية

Characteristics of Electronic Navigation

1- خصائص الملاحة الإلكترونية

1-1 مقدمة

الملاحة هي فن الانتقال من مكان لآخر بكفاءة وأمان، وقد عُرف هذا الفن منذ قديم الزمن وبدأ بالملاحة الأرضية سواء في الغابات أو الصحراء حيث كان الملاحون يهتدون بالنجوم في تحديد خط سيرهم ثم انتقل للملاحة البحرية منذ آلاف السنين وتطور لاستخدامه في الملاحة الجوية باختراع الطائرات في القرن الثامن عشر ثم استخدم في ملاحة الفضاء مع غزو الإنسان له في القرن التاسع عشر وتطورت فنون وعلوم الملاحة حتى وصلت إلى استخدامات الأجهزة والمساعدات الإلكترونية وأجهزة إرسال واستقبال موجات الراديو حتى أطلق عليها الملاحة بالراديو أو الملاحة الإلكترونية.

وتتميز الملاحة الإلكترونية بالدقة والسرعة في الحصول على المعلومات اللازمة لتحديد العناصر الأساسية لأركان الملاحة وهي معرفة إحداثيات المكان أو الموقع ومعرفة خط السير أو الاتجاه ومعرفة الزمن وتحديد السرعة. ولقد تمكنا باستخدام أجهزة القياس الإلكترونية الحديثة من توفير الدقة العالية في تحديد عناصر الملاحة هذه وأصبح عنصر التضليل بين أنظمة الملاحة وأجهزتها تعتمد على سهولة الاستخدام والمزيد من الدقة ومقدار الاعتمادية في النظام المستخدم والسرعة في توفير البيانات.

ولقد تعددت الأنظمة الملاحية التي تعتمد على انتشار الموجات اللاسلكية وتستخدم الأجهزة الإلكترونية في الملاحة منذ نهاية الحرب العالمية الثانية حيث بدأ أول الأنظمة الملاحية وهو نظام ديكا والذي استخدم لفترة طويلة ثم تبعه نظام لوران-سى ثم نظام أوميجا وهي الأنظمة التي تعتمد على وجود محطات الإرسال الأرضية ثم تطورت الأنظمة مع التقدم نحو الفضاء حيث استخدمت الأقمار الصناعية في بث الإشارات بدلاً من المحطات الأرضية وبذلك تحقق أحد العوامل سواء في تحديد الموقع أو تحديد الوقت وهو وجود كل من القمر الصناعي والراصد على خط عمل واحد، كما حدث تطور آخر في تكنولوجيا الفضاء والأقمار الصناعية مع

اختراع أنظمة جديدة أكثر دقة من الأنظمة التي استخدمت في السنوات الماضية لقياس الوقت بالساعات الذرية واستخدام الترددات العالية جداً.

٣-١ تطور الأنظمة الملاحية

تطورت الأنظمة الملاحية والملاحة الإلكترونية تطوراً كبيراً في السنوات الأخيرة حتى أصبحت الملاحة الحديثة شائعة الاستخدام لما وفرته للملاحين من وقت وجهد كبيرين بالإضافة إلى توفير درجة عالية من الدقة والثقة في البيانات والمعلومات بما يحقق أكبر قدر من السلامة مع خفض تكلفة التشغيل بدرجة كبيرة.

وقد ساعد على هذا التطور الكبير العوامل التالية:

- أ- التطور السريع في وحدات الترانزستور (المواد النصف موصلة).
- ب- التطور الكبير في صناعة الدوائر الإلكترونية المتكاملة (IC) المطبوعة منها والمركبة.
- ج- الخطوات الواسعة التي خطتها الإنسان في مجال غزو الفضاء وما صاحبها من حاجة ملحة لملاحة الفضاء.
- د- اختراع الساعات الذرية (Atomic Clocks) واستخدام مذبذبات دقيقة ومستقرة.
- هـ- تطور أجهزة الاتصالات اللاسلكية والتوصل إلى النظريات التي تشرح خصائص انتشار موجات الراديو واستخدام نوافذ جديدة في الترددات العالية جداً (VHF Band) واستخدام الإشارات الرقمية.
- و- التطور الكبير في الحاسبات الإلكترونية ذات السعة الكبيرة والأحجام الصغيرة والسرعة الفائقة.

وقد تطورت المساعدات الملاحية الإلكترونية حتى شملت جميع العمليات الملاحية التي تتعلق بتحديد موقع السفينة إلكترونياً وتحديد خطوط السير والاتجاهات بواسطة البوصلات الجيروسكوبية وتحديد الأعماق والسرعات واتجاهات محطات الإرسال بالبيكونات بالإضافة إلى التطور الكبير الذي حدث في أجهزة الرادار واستحداث أجهزة التوقيع الأتوماتيكية الأرضية، كما

تشهد العلوم الملاحية في الوقت الحاضر تطوراً علمياً كبيراً في الاتجاهات الثلاثة التالية:

- أ- الملاحة الكونية عن طريق الأقمار الصناعية (GPS) وجولوناس وجاليبو.
 - ب- تحديد الاتجاهات الحقيقية وخطوط السير باستخدام أشعة الليزر.
 - ج- استخدام الغرالط الإلكترونية البحرية (ECDIS) بدلاً من الغرالط الورقية التقليدية وما يصاحبها من التكامل الملاحي.
- مما سبق عرضه يتضح أن هناك تطوراً كبيراً في الملاحة الإلكترونية الأمر الذي أدى إلى تعددها لخدمة الملاحين مما يفرض علينا مسئولية اختيار النظام الملاحي المناسب للاستخدام والفرض المناسب.

٣-١ أنواع أنظمة الملاحة الإلكترونية

إذا نظرنا إلى الأنظمة الملاحية الإلكترونية نجد أنها تعتمد بصفة عامة على انتشار موجات الراديو فيما عدا نظام الملاحة بالقصور الذاتي INS الذي يعتمد على مجموعة من أجهزة قياس الاتجاه والسرعة والعجلة التزايدية للسفينة أو الطائرة Acceleration، فيما عدا ذلك فإن معظم الأنظمة الملاحية تعتمد على انتشار الموجات الكهرومغناطيسية ولابد من وجود محطات إرسال تعتمد على شبكات أرضية مثل نظام لوران ويكونات تحديد الاتجاه اللاسلكي أو مرسلات فضائية مثل أنظمة الملاحة بالأقمار الصناعية أو أجهزة ذاتية أخرى بحيث يكون كل من المرسل والمستقبل محمولاً بالسفينة مثل أجهزة الرادار وأجهزة قياس السرعة بالدوبلر وأجهزة قياس الأعماق بالصدى وأنظمة المساحة بالمستجيبات التري سبولدرز.

هذا بالإضافة إلى أجهزة بيان خطوط السير وحركة الدفة والتحكم من بعد وأجهزة التوجيه الأتوماتيكية ومكررات البوصلة الحقيقية وعدادات قياس السرعة الأملية والجانبية وأجهزة بيان معدل الدوران وأجهزة الاتصالات اللاسلكية ذوى المدى القصير منها والبعيد وأجهزة نقل الصورة بالفاكسميل وأجهزة التحذير بالناقلتكس ويكونات الاستئالة EPIRB بالإضافة إلى ما

سوف يفرزه التطور العلمى من استخدام أجهزة إلكترونية لعرض صورة الخرائط البحرية الإلكترونية ECDIS بدلاً من الخرائط الملاحية التقليدية، وهكذا فلم يترك ركن فى أركان الملاحة إلا وغزته الأجهزة الإلكترونية الحديثة.

وعلى الرغم من تعدد الأجهزة الملاحية وخاصة أنظمة تحديد الموقع الإلكترونية، فإنها تتميز فيما بينها بالنظرية الرياضية التى تعتمد عليها لتحويل المعلومات الفيزيائية الخاصة بانتشار الموجات اللاسلكية إلى معلومات ملاحية تتمثل فى تحديد خطوط الموقع أو تحديد موقع السفينة بمعرفة خط الطول وخط العرض مباشرة أو الإحداثيات الجيوديسية أو الشماليات والشرقيات.

كما أن بعض هذه الأنظمة تعتمد على نظرية القطع الزائد Hyperbola لتحديد خطوط الموقع مثل نظام لوران وبعض الأنظمة المستخدمة فى أعمال المساحة البحرية.

وعدد آخر من هذه الأنظمة يعتمد على قياس المسافة بين الراصد وبين الأهداف الملاحية مثل الرادار والأقمار الصناعية جي. بي. أس وبعض المساعدات الملاحية المستخدمة عند الاقتراب من الساحل لتحديد الموقع فى الممرات المائية الضيقة.

كما أنه نظراً لتعدد الأنظمة الملاحية فإنه يلزم لتوقيع مكان السفينة أن تتوافر حاسبات إلكترونية بأجهزة الاستقبال لتحديد الموقع مباشرة بمعرفة كل من خط العرض وخط الطول وهو ما يمكن الاستفادة منه فى أي من الأنظمة الملاحية الموجودة حالياً. أما من حيث القياس فتوجد أجهزة تعمل على قياس فرق الطور Phase Difference كما أن هناك أجهزة أخرى مصممة على قياس فرق الوقت أو المسافة أو تأثير الدوبلر، ولكل نوع من هذه الأنواع نظرية خاصة به وترتيبات معينة حتى يتمكن الملاح من تحديد الموقع وتحديد المعلومات المطلوبة من هذه الأجهزة.

وأخيراً، فهناك مجموعة متعددة من الأنظمة الملاحية الإلكترونية التى تستخدم عند الاقتراب من الموانئ والقنوات والممرات البحرية وبعضها

يعتمد على نظرية الهيريدولا مثل أنظمة لامبدا والبراون بوكس والهاي فوكس أو تعتمد على أنظمة قياس المسافة بين بيكونات محددة على الساحل أو جانبي الممر المائي كما أن بعضها يعتمد على الأنظمة الفرقية Differential Systems المشتقة من الأنظمة الرئيسية مثل DGPS. وتتميز هذه الأنظمة الأخيرة بأنها قادرة على تحديد الموقع بدقة عالية جداً تبلغ عدة أمتار فقط كما أن المعلومات التي توفرها للملاح ليس فقط خط الطول وخط العرض وإنما أيضاً بعد السفينة عن محور الممر الملاحى وبعد السفينة من نقاط تغيير خط السير (Waypoints).

1-3 عناصر اختيار النظام المكون

يتوقف قرار اختيار النظام الملاحي الذي يستخدم بالسفينة على عدة عوامل متداخلة من الصعب النظر إليها مجزأة ومن أهمها:

- أ- تغطية النظام للمنطقة التي تتردد عليها السفينة في خط سيرها العام.
- ب- مقدار اللقطة المطلوبة في تحديد موقع السفينة.
- ج- معدل الحصول على موقع السفينة.
- د- الاعتمادية.

وغالباً ما يكون قرار استخدام أحد الأنظمة الملاحية مبنيًا على أكثر من عامل واحد، وكثيراً ما يوجد بالسفينة أكثر من نظام يفضل استخدامه في بعض الظروف بينما يفضل استخدام نظام آخر في ظروف مختلفة؛ وبالإضافة لعامل السهولة في الاستخدام ووجود بدائل أخرى من المساعدات الملاحية فإن العناصر التالية تساعد على الاختيار الأمثل للنظام الملاحي الذي تحوز به سفينة ما.

Availability	أما: تغطية النظم أو توفره (المتاحة)
--------------	-------------------------------------

من أهم العوامل التي تحدد نوعية النظام الذي يجب اختياره هو تغطيته للمنطقة التي يجربها السفينة، فهناك أنظمة تغطي بعض الأماكن ولا تغطي أماكن أخرى مثل لوران وأنظمة أخرى تغطي

العالم كله مثل أنظمة الأقمار الصناعية. فإذا كانت السفينة تتردد بين موانئ معينة وتتبع خطوط سير منتظمة، فإنه يجب معرفة النظام أو الأنظمة التي تغطي هذه المناطق حتى يمكن اقتراح النظام الذي نختاره بعد دراسة المتطلبات من العوامل الأخرى مثل الدقة وتكرارية تحديد الموقع.

ثانياً، الدقة المطلوبة من النظام الملاحي Accuracy

تعتبر الدقة التي يوفرها النظام الملاحي من أهم عوامل تفضيل استخدام نظام ملاحي على آخر والدقة التي تتطلبها السفينة من أي نظام تعتمد على عاملين أساسيين، أولهما هو طبيعة عمل السفينة والثاني طبيعة المنطقة التي تبحر بها السفينة، فطبيعة عمل السفينة تحدد مقدار الدقة التي يجب أن تتوافر في النظام، فمثلاً السفن التي تعمل لأغراض خاصة مثل أعمال المساحة وأعمال حفر آبار البترول أو السفن الحربية وهي السفن ذات الطبيعة الخاصة، يتحتم عليها اختيار النظام الذي يعطي أكبر قدر من الدقة في معظم أوقات العمل والأمر الثاني هو طبيعة المنطقة التي تبحر فيها السفينة والعوامل التي تؤثر على دقة الموقع المطلوب بها مثل:

- ♦ كثافة المرور البحري في المنطقة
- ♦ وجود أنظمة فصل مسارات السفن ووجود المناطق العازلة بين الممرات
- ♦ اتساع المجرى الملاحي
- ♦ عمق المياه التي تبحر فيها السفينة
- ♦ وجود الأخطار الملاحية في منطقة الإبحار
- ♦ المساعدات الملاحية الأخرى في المنطقة مثل المساعدات المرئية من فئارات وعالمات وبيكونات للرادار.
- ♦ التكلفة التي تتحملها السفينة عند استخدام أنظمة ملاحية لا تغطي دقة عالية.

كما أن استخدام نظام ملاحة ذو دقة عالية يقلل من المسافة التى تقطعها السفينة فى رحلتها ويقلل من مقدار انحراف السفينة بعيداً عن خط سيرها المطلوب. وكلما انخفضت هذه الدقة كلما زاد هذا الانحراف أو بعدت السفينة عن خط السير وينتج عن ذلك أن السفينة تسير مسافات أطول من المسافة المحددة بخط السير المطلوب، وبذلك إذا كانت السفينة تعمل مثلاً فى قفل الركاب أو إذا كانت تكلفة تشغيلها عالية فإنه فى هذه الحالة يجب اختيار النظام الذى يوفر دقة كبيرة وبالتالي يساعد السفينة على التزامها بخط السير المطلوب وبالتالي تقل مسافة الإبحار إلى أقل مسافة ممكنة.

ثالثاً: معدل إبقاء الموقع (تكرارية النظام)

Repeatability of the System

تعرف تكرارية النظام بعدد مرات تحديد موقع السفينة فى وقت معين أو بمعنى آخر الفترة الزمنية اللازمة بين تحديد موقعين متتاليين. ويعتبر هذا المطلب مكمل للعامل السابق ذكره فى عنصر الدقة من حيث طبيعة عمل السفينة والمنطقة التى تبهر بها. غير أن بعض الأنظمة الملاحية يمكنها أن تحدد موقع السفينة بمعدل مرتفع من التكرارية أو ما يشبه الاستمرارية.

Reliability

رابعاً: الاعتمادية فى النظام (العول)

بعض هذه الأنظمة الملاحية تتأثر عندما تسير موجاتها فى طبقات الجو المؤينة أو عندما تمر إشاراتها بين وسطين مختلفين، وبذلك فإن إشاراتها تكون معرضة لبعض المؤثرات المتشيرة وبذلك فإن الموقع الذى تحصل عليه باستخدام هذه النوعية من الأنظمة يتغير فى المكان الواحد تبعاً لتغير تأثير الطبقات المؤينة أو عوامل الانتشار الأخرى على الإشارات المستخدمة، إلا أنه لا يوجد نظام واحد خالى من هذا التأثير، فجميع الأجهزة الملاحية التى تعتمد على انتشار الموجات الكهرومغناطيسية تتأثر بدرجات متفاوتة بتأثير الوسط

الذى تمر فيه هذه الإشارات إلا أن بعضها يكون ذو تأثير كبير يتوقف على الترددات المستخدمة، فالترددات المنخفضة تتأثر بشدة بالانكسار.

أما الملاحة بالأقمار الصناعية والتي تعتمد على ترددات عالية جداً، فإنها تنتشر فى خط مستقيم تقريباً وبأقل انكسار ممكن بين السفينة وبين القمر الصناعى مما يوفر اعتمادية عالية فى الموقع الذى نحصل عليه، كما أن هناك أنظمة لا تعتمد على موجات الراديو مثل Inertia Navigation Systems أنظمة الملاحة بالقصور الذاتى وبالتالى فدرجة الاعتمادية والثقة فى موقعها تكون كبيرة، ولذلك فإن هذه الأنظمة الأخيرة تستخدم فى الملاحة الجوية وملاحة السفن الصغيرة والسفن الحربية والقواصات غير أنها بالطبع ذو تكلفة عالية.

٥-١ جيومترية القطع الزائده (المهبريولة) Geometry of Hyperbola

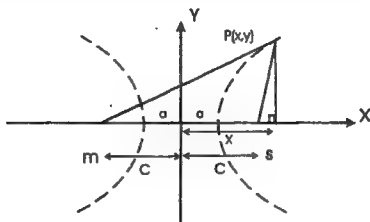
تعتمد معظم أنظمة الملاحة الإلكترونية الأرضية مثل لوران-سى والأنظمة المشتقة منهم على تحديد خط الموقع الناشئ عن منحنى القطع الزائد (المهبريولا)، والقطع الزائد هو أحد المنحنيات المستنتجة من المقاطع المخروطية والتي تعرف بأنها المجال الهندسى لنقطة (P) تتحرك فى مستوى بحيث يكون فرق المسافات بينها وبين نقطتين ثابتتين مقدار ثابت، وتعرف النقطتان الثابتتان بأنهما بؤرتا المنحنى فى الشكل (١-١)، وتسمى المسافتان بالبعدين البؤريين لمنحنى المهبريولا. ويلاحظ فى الشكل أن لمنحنى المهبريولا صورة مطابقة تماماً على كلا جانبي المحور الرأسى (Y)، أما ثابت المهبريولا (2a) فهي ضعف المسافة بين قمة المنحنى وبين نقطة الأصل على خط الأساس الذى يصل بين البؤرتين (s, m)، وهما نقطتان ثابتتان، أما المسافة بين البؤرتين فتسمى طول خط الأساس (2c) حيث:

$$a < c$$

ويمكن تحديد ثابت المهبريولا بالمعادلة التالية:

$$P_m - P_s = 2a$$

حيث (P_s) ، (P_m) هما البعدان البؤريان لمنحنى الهيبربول. أما المعادلة العامة لمنحنى الهيبربول فنحصل عليها بالتعويض عن قيمة (P_m) و (P_s) على النحو التالي:



شكل (1-1): منحنى الهيبربول

$$\sqrt{(x+c)^2 + y^2} - \sqrt{(x-c)^2 + y^2} = 2a$$

$$\sqrt{(x+c)^2 + y^2} - 2a = \sqrt{(x-c)^2 + y^2}$$

بتربيع الطرفين:

$$[(x+c)^2 + y^2] - 4a[\sqrt{(x+c)^2 + y^2}] + 4a^2 = (x-c)^2 + y^2$$

$$4cx + 4a^2 = 4a\sqrt{(x+c)^2 + y^2}$$

بتربيع الطرفين مرة أخرى:

$$c^2x^2 + 2a^2cx + a^4 = a^2[(x+c)^2 + y^2]$$

$$c^2x^2 + 2a^2cx + a^4 = a^2x^2 + 2a^2cx + a^2c^2 + a^2y^2$$

$$c^2x^2 - a^2x^2 - a^2y^2 = a^2c^2 - a^4$$

$$x^2(c^2 - a^2) - a^2y^2 = a^2(c^2 - a^2)$$

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{c^2 - a^2} = 1$$

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$$

Where: $b^2 = c^2 - a^2$ at $b > 0$

وفي أنظمة الملاحة التي تعتمد على منحنى القطع الزائد، فإن موقع كل من البورتين (S, m) يكونان موقع محطتي الإرسال في النظام المستخدم للملاحة وتكون إحدى المحطات هي المحطة الرئيسية (Master) ويرمز لها بالرمز (M) والأخرى هي المحطة التابعة أو الثانوية (Secondary) ويرمز لها بالرمز (S) وتعرف المسافة بين المحطة الرئيسية وكل من المحطات الفرعية بطول خط الأساس (2c).

ويوجد عدد لا نهائي من منحنيات القطع الزائد التي تكون واقعة بين البورتين (S, M) أي المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية للنظام المستخدم، وتختلف معادلة كل منحنى باختلاف معاملات المنحنى أي (a, b)، ففى حين أن طول خط الأساس (2c) يكون ثابتاً إلا أن قيمة (a) تتغير باختلاف بعد المنحنى عن نقطة الأصل، وبالتالي فإن قيمة المعامل (b) تتغير أيضاً. وبكل نظام ملاحة طريقة لحساب وقياس أو تحديد خط الموقع أو منحنى خط الموقع الذي نتحدث عنه فى نظرية القطع الزائد سواء بقياس فرق الوقت أو قياس فرق الطور أو قياس فرق الدوبلر والتي منها يمكن حساب فرق المسافات بين محطتي الإرسال (PM-PS) وتسمى المسافة بين منحنيات القطع الزائد بعرض الحارة (Lane-Width). وتكون المسافة بين هذه المنحنيات ثابتة ويحدد عرض الحارة بالقيمة المقاسة على خط الأساس فقط حيث أن هذه القيمة تزداد كلما بعدنا عن خط الأساس وفقاً لخصائص انفرج أو تمدد منحنيات القطع الزائد بعيداً عن خط الأساس.

ويوضح الشكل (١-٢) عدد من منحنيات الهيبربولا المستخدمة فى الملاحة والتي تسمى Line of Positions (LOP)، وتمثل المسافة بين موقع محطتي الإرسال (MS) بخط الأساس والذي يعادل (2c)، وكلما زاد طول

خط الأساس تزداد تقطعة منظومة الهيبربول، كما تسمى الخطوط الغير مستمرة الممتدة من النقط S M₂ خارجها بامتداد خطوط الأساس Baseline Extensions وهي منحنيات هيبربول ولكنها لا تستخدم في الملاحة.

Lane Expansion

٦-١ معادل تمدد الطوار

تسمى المسافة بين منحنيين متتاليين من منحنيات الهيبربول مقاسة على خط الأساس بعرض الحارة Lane Width وهي بالطبع اقل قيمة عند خط الأساس وتزداد المسافة بين المنحنيات المتتالية وفقا لخصائص الهيبربول وتكون دائما المسافة العمودية بين منحنيات الهيبربول بعيد عن خط الأساس ويرمز لها بالرمز (L') أكبر من قيمة الحارة (L) على خط الأساس. وتزداد قيمة عرض الحارة بمعامل يسمى معامل تمدد الحارات وفقا للعلاقة الرياضية التالية:

$$L = \frac{L'}{\sin \frac{\theta}{2}}$$

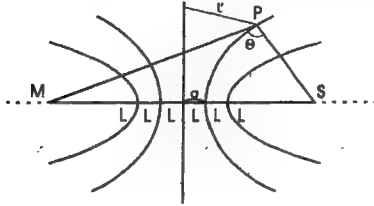
حيث (L): عرض الحارة على خط الأساس

(θ): الزاوية المحصورة بين اتجاهي المحطة الرئيسية

وإذا كان هناك خطأ في قياس خط المواقع بالهيبربول (E)، فإن قيمة هذا الخطأ تكون أصغر ما يمكن على خط الأساس وتزداد قيمة الخطأ بنفس معامل تمدد الحارات بعيدا عن خط الأساس، ويتوقف مقدار الزيادة على قيمة الزاوية (θ) فكلما اقتربت الزاوية (θ) من الصفر بالقرب من امتداد خط الأساس كلما زادت قيمة الخطأ والعكس صحيح، فعندما تكون الزاوية (θ) أكبر ما يمكن (١٨٠°) على خط الأساس نفسه (ms) فإن قيمة الخطأ تصبح أصغر ما يمكن حيث:

$$E' = \frac{E}{\sin \frac{\theta}{2}}$$

ولهذا السبب فإن امتداد خط الأساس لا يستخدم فى أعمال الملاحة حيث
أن قيمة الخطأ تصبح لا نهائية عليه.



شكل (١-٢):

٧-١ الخرائط الشبكية

فى أنظمة الملاحة الإلكترونية التى تعتمد على نظرية الهيربول فإنه يتم إنشاء خرائط ملاحية شبكية وهى خرائط ميكاتورية ملاحية يتم طبع خطوط ومنحنيات الموقع عليها بألوان معيزة كالأحمر والأخضر والبنفسجى وفقا لكل محطة من المحطات التابعة، وترقم هذه المنحنيات وفقا لنوع النظام المستخدم، وتسمى هذه الخرائط بالخرائط الشبكية (Lattice-Charts) وتغطى هذه الخرائط المناطق الملاحية التى يشملها النظام الملاحي المستخدم.

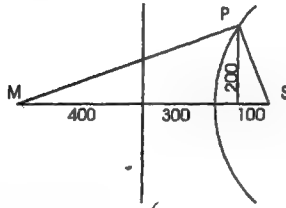
ورغم انتشار الخرائط الشبكية فى الملاحة فى المناطق المغطاة بأنظمة الملاحة الإلكترونية غير أنه يمكن الاستعاضة عنها بواسطة الجداول الملاحية التى تصدرها الجهات التى أنشأت كل نظام، وهى جداول تعطى خطوط الموقع لكل زوج من المحطات المرسله فى نظام القطع الزائد، وتغطى مساحات أكبر من تغطية الخرائط الشبكية أو أن تستبدل كل من الخرائط الشبكية والجداول البحرية بالحاسبات الإلكترونية المزودة بها أجهزة الاستقبال والتى فى إمكانها أن تعطى موقع السفينة مباشرة بعد

تحديد خطي الموقع في النظام المستخدم في المنطقة التي تتواجد بها السفينة.

مثال ١-١

إذا كانت المسافة بين محطتي إرسال مقدارها ٨٠٠ كم وإحداثيات الموقع هي $P(٢٠٠, ٢٠٠)$. أوجد معادلة الهيبربولا ثم أوجد معادلة الهيبربولا التالية لها إذا كانت المسافة على خط الأساس ٢٠ كم.

الحل:



إيجاد ثابت الهيبربولا:

$$PM - PS = 2a$$

$$\sqrt{(400 + 300)^2 + (200)^2} - \sqrt{(400 - 300)^2 + (200)^2} = 2a$$

$$\sqrt{700^2 + 200^2} - \sqrt{100^2 + 200^2} = 2a$$

$$504.4 = 2a$$

$$a \approx 252.2$$

$$b^2 = c^2 - a^2$$

$$= 400^2 - 252.2^2$$

$$\therefore b = (310.5)$$

معادلة الهيبربول:

$$\frac{x^2}{(252.2)^2} - \frac{y^2}{(310.5)^2} = 1$$

ثابت الهيبربول التالية:

$$a_1 = 252.2 - 20$$

$$a_1 = 232.2$$

$$b_1^2 = c^2 - a^2$$

$$b = 325.7$$

معادلة الهيبربول الثانية:

$$\frac{x^2}{(232.2)^2} - \frac{y^2}{(325.7)^2} = 1$$

الفصل الثانى

خصائص انتشار الموجات

الكهرومغناطيسية

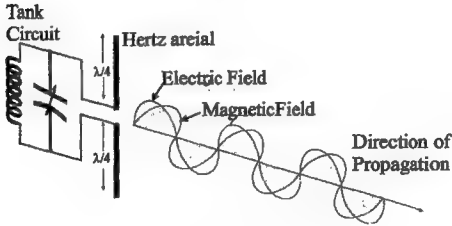
Propagation Characteristics of Electronic Waves

٢- خصائص انتشار الموجات الكهرومغناطيسية

Electromagnetic Waves

١-٢ الموجات الكهرومغناطيسية

طبقاً لقوانين الفيزياء فإن التيار الكهربائي ينتج عن حركة الشحنات الكهربائية التي تؤدي إلى وجود مجال كهربائي يعمل على توليد مجال مغناطيسي والمجال المغناطيسي يولد مجالاً كهربائياً آخر... وهكذا، ومن هنا تنتج الموجات الكهرومغناطيسية وهي موجات لها مجال كهربائي ومجال مغناطيسي متغيران بتلافة جيبية موجبة، ومتعامدان على بعضهما وعموديان على اتجاه انتشار الموجات الكهرومغناطيسية، ويوضح الشكل (١-٢) تفسيراً لشكل الموجة الكهرومغناطيسية الموجبة التي يعتمد فيها المجال المغناطيسي والمجال الكهربائي واتجاه الانتشار.



شكل (١-٢): الموجات الكهرومغناطيسية

والموجات الكهرومغناطيسية تنتشر في الفراغ بسرعة عالية جداً، كما أنها إحدى صور وجود الطاقة مثل الطاقة الكيميائية والطاقة الميكانيكية والطاقة النووية وغيرها، والواقع أن كل صور الطاقة الموجودة على الأرض هي ناتج كوكبنا الذي يعتمد طاقته كل يوم عن طريق أشعة الشمس، فإذن رؤيتنا للأشياء وإحساسنا بالحرارة دون لمس مصدرها مباشرة هي نتيجة

نقدر هنا على استقبال الموجات الكهرومغناطيسية التي تمثل المصادر أو المنعكس عن الأشياء.

وتنتشر الطاقة الكهرومغناطيسية في جميع الاتجاهات بنفس السرعة ويمكن تحديد اتجاه الانتشار باستخدام هوائيات ذات شكل خاص وعواكس تسمح بالانتشار في الاتجاه المراد وتوجيه الإشارة ناحيته مثل هوائيات الرادار، كما يمكن استقبال الإشارات الكهرومغناطيسية أيضاً من اتجاهات معينة بتركيز طاقة الانتشار مثلما يستخدم في أجهزة استقبال البث التلفزيوني والمرئي عبر القمر الصناعية باستخدام هوائيات إطنارية أو عواكس على شكل قطع مكافئ Parabolic Reflector.

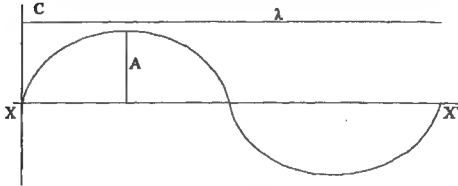
ويتم توليد الموجات الكهرومغناطيسية باستخدام أجهزة ودوائر إلكترونية تقوم بتوليد إشارات كهربائية لها نفس التردد تنقل عبر أسلاك إلى أجهزة خاصة تسمى الهوائيات، وتقوم هذه الهوائيات بتحويل هذه الإشارات الكهربائية إلى موجات كهرومغناطيسية للبث والانتشار في الجو المحيط أو خلال موجات أنبوبية أو خلال ألياف بصرية Optical Fiber Glass أي أن الهوائيات تعمل على تحويل الإشارات الكهربائية إلى موجات كهرومغناطيسية في حالة الإرسال والعكس في حالة الاستقبال حيث تعمل على تحويل الموجات الكهرومغناطيسية إلى موجات كهربائية والفرق الوحيد بين الصور المختلفة للموجات الكهرومغناطيسية هو الاختلاف في نافذة التردد Frequency Band أو ديدبات هذه الموجات للظوء ترددها، وللحرارة ترددها، ولطيف الاتصالات ترددها وهكذا.

Radio Communication

٢-٢ الاتصالات السلكية

تقسم الاتصالات من حيث وسيلة نقلها إلى اتصالات سلكية، واتصالات لاسلكية وكما هو واضح من الإسم فالإتصالات السلكية هي التي يتم فيها نقل المعلومات عبر أسلاك أو كابلات عن طرق كهربائية مثل شبكات التليفونات أو شبكات اتصالات الحاسبات أو الألياف البصرية الممتدة بين مواقع مختلفة. أما الاتصالات اللاسلكية فهي التي تنقل فيها المعلومات عن طريق موجات كهرومغناطيسية تبث عبر الفراغ المحيط بواسطة هوائيات

إرسال معينة، وتستقبل في محطات الاستقبال بواسطة هوائيات أخرى، مثل الإذاعة والتليفزيون واتصالات الأعلام الصناعية، ونظرا لأن الاتصالات والإشارات اللاسلكية تبث في الهواء مباشرة فإنه في إمكان أي شخص مزود بأجهزة استقبال أن يعرف المعلومات التي تحملها هذه الإشارات. وتتميز الموجات الكهرومغناطيسية بالخصائص التالية:



شكل (٢-٢): الموجة الكهرومغناطيسية

طول الموجة (λ) Wave Length

هي المسافة بالأمتار مقياس من النقطة X إلى النقطة X كما هو موضح في الشكل (٢-٢)، وقد تكون أطول الموجات كبيرة جدا وعبارة عن عدة كيلومترات وقد تكون متناهية الصغر بحيث تبلغ جزء على الألف من المتر وتسمى ميكروويف (موجات متناهية الصغر) ويكون النصف الأول من الموجة موجب بينما يكون النصف التالي من الموجة ذو شحنة سالبة.

السمعة (A) Amplitude

هي المسافة الرأسية في الشكل (٢-٢) وهي تعبر عن شدة الموجة (Input Power).

الطاقة Energy

تزداد طاقة الموجة كلما زاد طولها أو زادت شدتها أو كلاهما، ويعبر عن الطاقة رياضياً بتكامل من λ ، A .

$$E \propto \int A, \lambda$$

وتكون أقصى قيمة للطاقة بالقرب من محطة الإرسال وتقل قيمتها بالانتشار حيث يمتص الوسط الذي تسير فيه الموجة جزءاً من الطاقة وتتوقف درجة الامتصاص Absorption على معامل توصيلية الوسط فكلما كان الوسط موصلًا جيداً للكهربية كلما زاد معدل امتصاص الطاقة وبالتالي زاد وهن الموجة Attenuation. ومما هو جدير بالذكر أن طول الموجة لا يتغير بالانتشار إنما شدة الموجة (A) هي التي تقل وبالتالي تقل معها طاقة الموجة.

فترة الموجة (T) Period

لكل موجة كهرومغناطيسية فترة زمنية وهي فترة الدورة الكاملة. وتناسب فترة الموجة طردياً مع طولها وعكسياً مع ترددتها، فكلما زاد طول الموجة زادت فترتها.

التردد (F) Frequency

يعبر عن التردد بعدد الدورات الكاملة التي تصدر في الثانية الواحدة وعلاقة التردد عكسية مع فترة الموجة.

$$F.T = 1 \text{ sec.}$$

$$F = \frac{1}{T}$$

وأيضاً فإن التردد يتناسب عكسياً مع طول الموجة

$$F, \lambda = \text{constant} = \text{propagation values}$$

سرعة الانتشار Propagation Velocity

تبلغ سرعة انتشار الموجات الكهرومغناطيسية أكبر قيمة لها عندما تنتشر في الفراغ إذ تبلغ قيمتها 3×10^8 متر/ثانية وتقل قليلاً عندما تنتشر في غلاف

الكرة الأرضية وتتأثر بشدة سماح ونفاذية الوسط الذي تسير فيه وتظل السرعة ثابتة إذا كان وسط الانتشار ثابتاً ولكن إذا تغير الوسط تغير معه السرعة.

وتوضح السرعة العلاقة الثابتة بين كل من طول الموجة والتردد وفقاً للطلاقة الرياضية التالية:

$$\lambda \cdot F = C$$

حيث λ , F هما طول الموجة بالأمطار والتردد بال/ ثانية والسرعة (C) بالمترو/ ثانية.

وبصرف النظر عن قوة الإشارة (A) أو طاقنها أو طول الموجة المتولدة أو قيمة التردد، فإن السرعة دائماً ما تكون ثابتة ولا تتغير إلا إذا تغير الوسط الذي تنتشر فيه الإشارة.

وهذا التغير رغم صغر قيمته فإنه يتسبب في كثير من الأخطاء الحسابية عند استخدام إشارات الراديو في تحديد قياسات الموقع في جميع الأجهزة الملاحية.

ومما هو جدير بالذكر أن الإشارة الكهرومغناطيسية هي المجال الكهرومغناطيسي الموجود في الوسط بين كل من هوائى المرسل وهوائى المستقبل، أما الإشارة التى تتواجد على الهوائيات المرسل أو المستقبل فهي إشارة كهربائية أو مجال كهربائي له خصائص وسرعة تختلف كلياً عن مجال وسرعة انتشار الإشارة الكهرومغناطيسية.

٢-٣ الاتصالات التخاطبية والرقمية

Digital and Analogue Communications

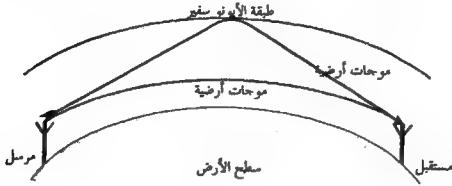
يمكن أيضاً تقسيم الاتصالات إلى اتصالات تمثيلية أو تناظرية واتصالات رقمية، فالاتصالات التمثيلية هي تلك التى تستخدم إشارات كهربائية تتغير باستمرار مع الزمن، ومثال ذلك شبكة التليفونات والإذاعة والتليفزيون حيث تتغير قيمة الإشارة مع شدة الصوت وطبيعته.

أما الاتصالات الرقمية فهي الإشارات التى تأخذ قيمة محددة عند لحظات معينة من الزمن، مثل الاتصال البرقلى حيث يرمز لكل حرف من اللغة

بمجموعة من الرموز، وترسل عبر نبضات معينة ذات أزمنة مختلفة معبراً عنها بواسطة "النقطة والشرطة" والاتصال بين الحاسبات يتطلب إرسال رموز تمثل المصغر أو الواحد الصحيح (0,1)، وبمعدل زمني صحيح. ويمكن استخدام دوائر كهربائية معينة لتحويل الإشارات التمثيلية إلى إشارات رقمية وبالعكس. وهناك حالياً اتجاه عام لتعميم استخدام الاتصالات الرقمية.

٢-٤ معارات الموجات الكهرومغناطيسية

عندما تتولد الموجة الكهرومغناطيسية وتبث خارج الهوائي المرسل فإنها تنتشر في جميع الاتجاهات بسرعة منتظمة وثابتة في الوسط الذي تنتشر فيه، وإذا كان الهوائي المرسل غير موجه، فإن انتشار الموجة يمكن تمثيله بنفخ بالونة مستديرة حيث يزداد حجمها بالتساوي في جميع الاتجاهات، وتقسم الموجات الكهرومغناطيسية إلى موجات أرضية وموجات سماوية. وتغنى بالموجات الأرضية ذلك الجزء من طاقة الإشارة التي تخرج من الهوائي المرسل وتصل إلى المستقبل على المسار الرضي، وتغنى بالموجة السماوية ذلك الجزء من نفس الإشارة الذي يصل إلى المستقبل من الاتجاه العلوي أي المنعكس من الطبقات الجوية المؤينة، وعلى ذلك يجب أن يكون مفهوماً أن كل من الموجة الأرضية والموجة السماوية هما وجهان لنفس العملة، فهي موجة واحدة جزء منها ينتشر على الأرض وجزء آخر عند اصطدامه بالطبقات المتأينة في السماء فإنه يرد إلى سطح الأرض ويسمى بالموجات السماوية. ويوضح الشكل (٢-٣) مسار الموجات الأرضية والسماوية لنفس الموجة الكهرومغناطيسية، وفيما يلي وصف لكل منهما.



شكل (٢-٣): مسارات الموجات الكهرومغناطيسية الأرضية والمعاوية

Ground Waves

٢-١-١ الموجات الأرضية

الموجات الأرضية هي ذلك الجزء من طاقة الموجة الذي ينتشر بالقرب من سطح الأرض. وهناك نوعان أساسيان من الموجات الأرضية وهما:

١- الموجات الأرضية السطحية Surface Ground Waves

وهي تلك الموجات التي تسير موازية لسطح الأرض وتعرض لعدة انكسارات بالقرب من سطح الأرض وبذلك فإنها تنتشر لمسافات بعيدة إلى حد ما، ويتوقف مدى انتشارها على ثلاث عوامل هي:

- ١- قيمة التردد: فكلما انخفض التردد أدى ذلك إلى زيادة طول الموجة وبالتالي مقدار ما تحمله من طاقة تمكنها من الانتشار لمسافات بعيدة.

- ٢- معامل توصيل الأرض Earth Conductivity: تعمل الأرض على امتصاص طاقة الموجات اللاسلكية ويزداد مقدار الامتصاص كلما كان سطح الأرض أكثر توصيلاً للمجال الكهربائي.

- ٣- شدة الموجة: وهي معيار لقوة خرج الإشارة أو مقدار السعة، فكلما زادت قوة الخرج أو الشدة زادت قيمة الطاقة التي تحتويها الإشارة وبالتالي زادت مسافة الانتشار.

٢- الموجات الأرضية المباشرة Direct Ground Waves

وهي تلك الموجات التي تسير في خطوط مستقيمة أو أقرب ما يكون إلى الخط المستقيم وتنتشر بين الهوائى المرسل والهوائى المستقبل في مرمى وخط النظر Line of Sight ويتوقف مدى انتشار هذا النوع من الموجات على عوامل ثلاثة هي:

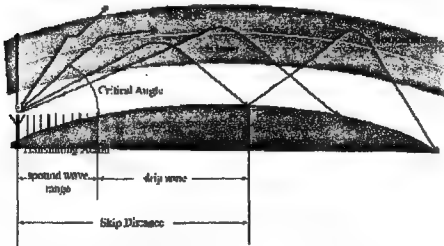
١- مدى انحناء سطح الأرض: فحيث أن الموجات تنتشر في خط مستقيم فإن انحناء سطح الأرض يحد من مدى الانتشار وبالتالي فإن وجود أي عوائق أو أجزاء مرتفعة عن الأرض يحد من مدى الانتشار.

٢- ارتفاع الهوائى المرسل والمستقبل: فكلما زاد ارتفاع الهوائى يزداد مقدار الأفق المقابل له Rational Horizon وتقدر مسافة الأفق بالعلامة الرياضية التالية:

$$R = K\sqrt{h}$$

حيث (K) هي معامل الانكسار في المنطقة و(h) هو ارتفاع الهوائى عن سطح الأرض.

٣- شدة خرج الإشارة: فكلما زادت شدة خرج الإشارة كلما زاد احتمال زيادة مسافة انتشارها ما لم يحدها انحناء سطح الأرض أو أي عوائق جغرافية أخرى.



شكل (٢-٤): الموجات السماوية الأولى والثانية



شكل (٢-٥): الموجات الفضائية والأرضية

Sky Waves

٢-٤-٢ الموجات السماوية

الموجات السماوية هي تلك الموجات التي تنعكس من الطبقات المؤينة إلى سطح الأرض، فعندما تصطدم مقدمة الموجات بالطبقة المؤينة فإن الجزء العلوى منها يكون قد دخل وسطاً مختلفاً عن الوسط النثير مؤين وقد يعمل هذا الوسط المؤين على زيادة سرعة هذا الجزء من الموجة وبالتالي فإن النصف العلوى من الموجة ينتشر بسرعة أكبر من النصف السفلى لها وهذا ما يرمز له الانكسار، وتكرر سلسلة الانكسارات حتى تخرج الموجة من الطبقة المؤينة فى اتجاه الأرض وتصل إلى الهوائى المستقبل فى مسار يأتىها من اتجاه الطبقات المؤينة السماوية فيقال أنها موجات سماوية، وعندما يكون الهوائى موجود على سطح الأرض بحيث يمكنه استقبال كل من الموجات الأرضية والموجات السماوية، فإن الموجات الأرضية سوف تصل قبل الموجات السماوية حيث أن مسار الموجة الرضية أقصر من مسار الموجة السماوية ويزداد الفارق الزمنى بين كل من الموجة الأرضية والموجة السماوية بالقرب من محطة الإرسال، ويقل الفاصل الزمنى بين وصول الموجات الأرضية والموجات السماوية لنفس المستقبل بعيداً عن الهوائى المرسل.

وعندما يكون مكان الاستقبال بعيداً جداً عن الإرسال فإنه من غير المحتمل أن تصل الموجة الأرضية والتي تكون قد قوضت طاقتها بفعل امتصاص سطح الأرض لها بينما يحافظ ذلك الجزء من نفس الموجة الذى مر فى

الطبقات المؤينة بظلاله وينعكس مرة أخرى إلى سطح الأرض مكوناً الموجات السماوية.

وأحياناً ما تنعكس الموجات السماوية عند اصطدامها بسطح الأرض وترتد مرة أخرى إلى أعلى في اتجاه الطبقات المؤينة ثم تنعكس مرة أخرى إلى الأرض وعندئذ يطلق عليها اسم الموجة السماوية المنعكسة الثانية Second Sky Wave Hop. وهذا النوع من الموجات يكون قد قطع مسافة مضاعفة عن الموجة السماوية الأولى. ولذلك عندما يكون هناك جهاز استقبال يمكنه استقبال كل من الموجات الأرضية والسماوية الأولى والثانية فإن فرق الوقت يكون كبيراً بين كل منها وذلك الوقت يسبب اختلاف في الطور بين الموجات الأرضية والموجات السماوية.

ويوضح الشكل (٢-٤) مسارات الموجات السماوية الأولى والثانية وانعكاسها من الطبقات المؤينة، ويتوقف مقدار انعكاس الموجات السماوية من الطبقات المؤينة على عاملين، أولهما هو شدة أو كثافة التآين وهو عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في المتر المكعب من الطبقة المؤينة، والثاني هو تردد الإشارة ($f = \frac{K}{F^2}$) حيث (f) هو معامل الانكسار، (K) كثافة التآين و(f) تردد الموجة. وحيث أن معامل الانعكاس أو الانكسار يتناسب عكسياً مع مربع التردد فكلاً زاد التردد كلما قل احتمال انعكاس الإشارة، وكلما قل التردد زاد احتمال انعكاس الموجات وارتدادها إلى سطح الأرض وتسمى في هذه الحالة موجات سماوية أما إذا زاد التردد (VHF) فإن الإشارة عادة ما تخترق الطبقات المؤينة المنخفضة (D) والمتوسطة (E) والطبقات المرتفعة (F) وتنطلق في الفضاء الخارجي ولا تعود إلى الأرض مرة أخرى، ما لم تنعكس بفعل عاكس قوى وتسمى في هذه الحالة موجة فضائية (Space Wave). وفي بعض حالات التردد العالي (HF) وعندما تزداد كثافة التآين تنعكس الإشارة من الطبقة المتأينة العليا وترتد إلى سطح الأرض وهي ما يطلق عليها الموجات القصار (S.W) والتي تستخدم في الإذاعة.

ويوضح الشكل (٢-٥) كل من الموجات الأرضية والسماوية والفضائية وعلاقتها بالطبقات المؤينة وتسمى المنطقة على سطح الأرض الموجودة بين أقصى مدى لانتشار الموجات الأرضية وأول استقبال للموجات السماوية بمسافة الانزلاق (Skip Distance) والتي لا يستطيع الهوائى المستقبل من استقبال الإشارة على الموجات السماوية. أما منطقة الانزلاق Skip Zone فهي المسافة بين أقصى مدى لانتشار الموجات الأرضية وأول استقبال للموجات السماوية والتي لا يمكن استعمال الإشارة فيها سواء على المسار الأرضى أو المسار السماوى.

٢-٥ أثر الترددات على مسار الموجات

يتأثر مسار الموجات تأثراً شديداً بقيمة التردد، فالترددات المنخفضة ذات الطول الموجى الكبير يمكنها الانتشار على سطح الأرض وفقاً للمسار الموازى للأرض والمسافات بعيدة لأنها غالباً ما تحتوى على طاقة كبيرة بالإضافة إلى أن معامل انكسارها كبير والذي توضحه العلاقة التالية:

$$n = \frac{K}{f^2}$$

فكلما انخفضت قيمة التردد زاد احتمال انكسار الموجات وانبعث مساراً منحنيّاً على سطح الكرة الأرضية. ويبلغ مدى انتشار الموجات المنخفضة جداً ذات الطول الموجى الكبير عدة آلاف من الأميال كما أنها تتعرض للانكسار من الطبقة المؤينة المنخفضة (D أو E) وبالتالي ترتد إلى سطح الأرض.

وعلى ذلك فإن الموجات الطويلة ذات التردد المنخفض يمكن استخدامها على كلا المسارين الأرضى والسماوى ولمسافات بعيدة وتنعكس عادة من الطبقة المتأينة المنخفضة، أما الموجات القصيرة ذات الترددات العالية فإن انكسارها يكون محدوداً ولذلك تنتشر فى خطوط مستقيمة على سطح الأرض ويمكنها اختراق الطبقات المؤينة والنفاذ للفضاء الخارجى مشكلة موجة فضائية تمكننا من الاتصال بالأعلام الصناعية حول الأرض.

٢-٦ أثر المجال علو انتشار الموجات الكهرومغناطيسية

تتأثر الموجات الكهرومغناطيسية التي تنتشر في المنطقة بين سطح الأرض وبين الطبقات المؤينة بالمناخ الجوي، فتتأثر بالتغير في درجات الحرارة ومقدار الرطوبة كما تتأثر عند مرورها في وسطين مختلفين في الخصائص الفيزيائية من الكتل الهوائية أو عند مرورها فوق مناطق ذات توصيل كهربائي مختلف، وتكون أكثر الموجات الكهرومغناطيسية التي تتأثر بشدة التغير في الطقس الجوي هي الموجات المتناهية في الصغر Micro Waves. وبالتالي فإن أنظمة الملاحة التي تعتمد على قياس المسافة Ranging Systems تكون متأثرة بدرجة كبيرة بطول المسار الذي تتبعه هذه الموجات، حيث أنه من المفترض أن الموجات المتناهية في القصر أو الترددات العالية جداً تسير في مسارات مستقيمة وتتبّع المسافات بين المرسل والمستقبل غير أن العوامل الجوية مثل اختلاف درجات الحرارة والرطوبة قد تغير من هذا المسار وبالتالي تتأثر دقة أنظمة قياس المسافات خاصة في أعمال المساحة البحرية أو تحديد الموقع بدقة. وتزداد المسافة التي تقطعها الموجات القصيرة جداً عن المسافة التي يقطعها الضوء فوق سطح الأرض بمقدار ٦٪ تقريباً وذلك يرجع إلى تعرض الموجات الكهرومغناطيسية القصيرة للانحناء البسيط في اتجاه سطح الأرض مما يجعل مسارها أطول قليلاً من مسار الضوء الذي يسير في خط مستقيم والعوامل القياسية الجوية الفيزيائية التي تستخدم لمعايرة مسار الموجات الكهرومغناطيسية هي أن يكون الضغط الجوي مساوياً ٧٦٠ مم (٢٩,٩٢١٣ بوصة) وأن تكون درجة الحرارة ١٥ درجة مئوية وذلك عندما تكون درجة الرطوبة النسبية صفراً مقياساً على سطح البحر.

وبالتبع فإن الطقس الجوي لا يظل على هذا الحال لذلك فإن اختلافات الدرجات القياسية للضغط ودرجة الحرارة والرطوبة تؤثر على مسار الموجات الكهرومغناطيسية، فإما أن تسير موجات الراديو في خطوط مستقيمة ودون انحناء أو أنها تنحني انحناءاً طبيعياً في اتجاه سطح الأرض، أي إلى أسفل، أو أن يزداد هذا الانحناء بدرجة كبيرة في اتجاه سطح الأرض، ويسمى في

هذه الحالة انحناء موجباً شديداً Super Refraction أو انكساراً سالباً إلى أعلى شديداً Sub Refraction.

ويحدث الانكسار الموجب الشديد عندما تنخفض درجة حرارة الجو بالارتفاع بدرجة أقل من المعدل الطبيعي Temperature Lapse أو عندما تقل درجة الرطوبة بالارتفاع فإن موجات الراديو تتعرض للانكسار الموجب الشديد Super Refraction الذى يعمل على انتشار هذه الموجات على مسافات كبيرة تزيد عن معدلها الطبيعي. وعندما يكون الانكسار الموجب كبيراً جداً فإن موجات الراديو قد تحتجز بين سطح الأرض والطبقات المؤينة ويسمى المسار حينئذ بالنفق الجوى Duct Effect ويتكون النفق الجوى عندما يوجد هواء دافئ وجاف قادم من الأرض ويمر فوق سطح البحر البارد فيتكون Temperature Inversion أي انقلاب حرارى وقد يصل سمك النفق الجوى إلى حوالي ٢٠ متر فوق سطح البحر، ويساعد على انتشار الموجات الكهرومغناطيسية ذات التردد العالي لمسافات تزيد عن معدلها.

وبالإضافة إلى ظاهرة الانكسار الموجب الشديد والنفق الجوى اللذان يغيران من مسار الموجات الكهرومغناطيسية، فإن العوامل الجوية قد تفسر لتسبب الانكسار السالب الشديد Sub-Refraction والذى تنحني فيه موجات الراديو إلى أعلى وبالتالي تقلل بشدة من المدى الذى يمكن عليه استقبال موجات الراديو وتحدث هذه الظاهرة عندما تكون درجة حرارة التدى أعلى من درجة حرارة سطح البحر، وفي هذه الحالة فإنه يتكون الضباب، كما وأن انخفاض درجة الحرارة بشدة وبأكبر من معدلها الطبيعي بالارتفاع يساعد على الانكسار السالب لموجات الراديو القصيرة. ويوضح الشكل (٢-١) و(٢-٢) كل من الانكسار الموجب والانكسار السالب والنفق الجوى لانتشار الموجات المتناهية في القصر Micro Wave على سطح الأرض.



شكل (٢-٦): الانكسار السالب والانكسار الموجب



شكل (٢-٧): تأثير النفق الجوى

Ionization

٧-٢ آخر الغاييم الجوى

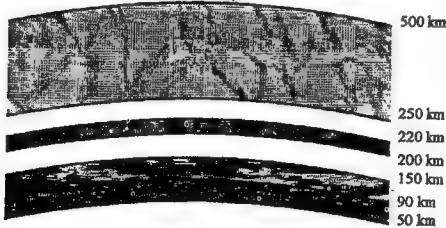
يحتوى الغلاف الجوى فوق سطح الأرض بين الارتفاع ٥٠ كم وحتى ارتفاع ٥٠٠ كم على ذرات مشحونة كهربائياً تسمى أيونات (Ions). وقد تكون هذه الأيونات المشحونة موجبة التكهرب أو سالبة التكهرب عن طريق فقد أو كسب عدد من الإلكترونات الحرة فى المدار الخارجى للذرة، فإذا فقدت الذرة عدداً من هذه الإلكترونات تصبح الذرة موجبة التكهرب أما إذا اكتسبت الإلكترونات فإنها تصبح سالبة التكهرب وتنشط هذه الأيونات فى الأجواء العليا فوق سطح الأرض بفعل أشعة الشمس فوق بنفسجية Ultra Violet.

وتعتمد درجة التأين على شدة الأشعة فوق بنفسجية (UV) التى تصل إلى الغلاف الجوى للأرض من الشمس ولذلك فإن درجة التأين تكون أقل خلال ساعات الليل فى حين أنها تبلغ ذروتها فى ساعات النهار، وتزداد أيضاً

عندما يكون ميل الشمس عمودياً على سطح الأرض. وتعمل هذه الأيونات الموجودة في الغلاف الجوي على التأثير على الموجات الكهرومغناطيسية الصادرة من أي مكان على سطح الأرض فقد تمتصها بالكامل أو تعمل على انعكاسها أو انعكاسها وارتدادها إلى سطح الأرض مرة أخرى، وعند انعكاسها يتحقق الاتصال بين المرسل والمستقبل والذي يتم بالموجات السماوية، أما إذا نقلت الموجات الكهرومغناطيسية من الغلاف الجوي إلى الخارج سميت هذه الموجات بالموجات الفضائية Space-Wave.

وتوجد أربعة طبقات رئيسية ومميزة تحيط بالكرة الأرضية أثناء النهار وينخفض عدد هذه الطبقات إلى اثنين فقط أثناء الليل، ففي النهار توجد الطبقة المؤينة الأولى القريبة من سطح الأرض على مسافة ٥٠ كم تقريباً وهي الطبقة (D) ثم يطوها الطبقة (E) على ارتفاع يتراوح بين ٩٠ و ١٥٠ كم ثم الطبقة (F₁) بين ٢٠٠-٢٥٠ كم. وأخيراً الطبقة (F₂) بين ٢٥٠-٥٠٠ وأثناء الليل فإن الطبقة (D) تتلاشى أو تنضم مع الطبقة (E) مكونة طبقة متوسطة ارتفاعها حوالي ٩٠ كم. وكذلك تنضم كل من الطبقتين (F₁, F₂) في طبقة واحدة أكثر سمكاً ولكن أقل كثافة، ويكون متوسط ارتفاعها حوالي ٣٠٠ كم. ويوضح الشكل (٨-٢) ارتفاع الطبقات المؤينة فوق سطح الأرض.

State of the Ionospheric Layers During Daylight
(Not Scale)



شكل (٨-٢): طبقات الجو المؤينة

وتعمل الطبقات المؤينة المنخفضة (D, F) على انعكاس الموجات الكهرومغناطيسية الطويلة جداً، أي ذات التردد المنخفض جداً (VLF) والتردد المنخفض (LF)، أما الطبقة المؤينة الوسطى ($F1$) وأحياناً الشريحة العليا من الطبقة (E) فإنهما يؤثران على الموجات الكهرومغناطيسية المتوسطة، أي ذات التردد المتوسط (MF) وتعمل على انكسارها وانعكاسها إلى سطح الأرض مرة أخرى. أما الطبقات العليا فإنها تؤثر على الترددات ذات الطول الموجي القصير أو الدبذبات العالية (HF) وتعكسها إلى سطح الأرض، وهذا ما يحدث لإشارات الراديو التي يتحقق بها الاتصال على مسافات بعيدة عبر الموجات القصار. أما الترددات العالية جداً (VHF) وما بعد ذلك في الطيف الترددي فإنها تنفذ من خلال الطبقات المؤينة وتصبح موجات فضائية وتحقق الاتصال مع القمار الفضائية الموجودة خارج الغلاف الجوي والتي بواسطتها يتم الاتصال بين الأرض وبين القمار الصناعية العديدة الأغراض سواء للملاحة أو الاتصالات كما أن درجة تأثير الطبقات المؤينة على الموجات الكهرومغناطيسية يعتمد أيضاً على كثافة درجة التأين وعلى طول الموجة المستخدمة، فكلما زادت كثافة أو شدة التأين كلما زاد معامل الانكسار $Reflection\ Index$ أي أن معامل الانكسار (I) يتناسب طردياً مع شدة التأين وعكسياً مع مربع تردد الإشارة الكهرومغناطيسية.

Frequencies Spectrum

٢-٨ الطيف الترددي

تلعب الترددات دوراً هاماً في الاتصالات اللاسلكية، فنسب التردد يحدد مقدار الطاقة التي تحتويها الموجة ويحدد ما إذا كانت الموجات سوف تنعكس من الطبقات المؤينة وترتد وبذلك تصبح موجات سماوية أن أنها تنتشر على سطح الأرض فتصبح موجات أرضية أم أنها تسير في خطوط مستقيمة وتنفذ من الغلاف المؤين وتسمى موجات فضائية مباشرة.

ونطاق الترددات $Frequency\ Band$ متعدد، فهو يبدأ من شريحة الترددات المنخفضة جداً جداً (ELF) ويتدرج في الزيادة حتى يصل إلى شريحة الترددات العالية جداً جداً والتي تصل في تردداتها إلى الترددات الضوئية... ولكل شريحة من هذا الطيف من الترددات استخداماً مختلفاً.

لقد خصصت النفاذ المنخفضة للاستخدام الملاحي والنفاذ المتوسطة والمرتفعة في الإذاعات بالراديو بينما انحصرت النواقل المرتفعة جدا (VHF) على استخدامات الاتصالات والاستشعار عن بعد ومختلف التطبيقات الفضائية، وما بعد ذلك من نواقل ترددية انحصرت على الإشعاع الفوق حراري والبنفسجي والأشعة السينية والإشعاع الضوئي.

ويمكن إيضاح خصائص النواقل الترددية التي تستخدم في أغراض الملاحة والاتصالات على النحو التالي:

أولاً: الترددات المنخفضة والتي تشمل النواقل من ١٠-٢٠٠٠ ك/هرتز وتستخدمها أنظمة الملاحة التي تعتمد على محطات إرسال أرضية مثل لوران-سى حيث نجد أنه بإمكانها أن تنتشر لمسافات بعيدة على سطح الأرض كموجات أرضية وأيضاً فهي تنعكس من الطبقات المؤينة المنخفضة ولذلك فإن الاتصال يتحقق سواء بالموجات الأرضية أو الموجات السماوية والذرية على الاحتفاظ بظلالها مرتفعة نظراً لطول موجاتها.

ثانياً: الترددات المتوسطة من ٢٠٠-٩٠٠٠ ك/هرتز، وهي الترددات التي تستخدم في الإذاعة وفي أجهزة تحديد الاتجاه اللاسلكي وفي إذاعة تمحيصات النظام للأعلام الصناعية GPS.

ثالثاً: الترددات المرتفعة والمرتفعة جداً (VHF, H) فهي الترددات ذات الطول الموجي القصير جداً والتي لا تحمل طاقة تمكنها من الانتشار لمسافات طويلة على سطح الأرض، وهي تتميز بالانتشار في خطوط مستقيمة ويتحقق الانتشار إذا كان كل من المرسل والمستقبل على خط عمل واحد، وتستخدم في أغراض الاتصال التليفوني (VHF) وفي أنظمة الملاحة بالقمار الصناعية وفي أجهزة الرادار، وتستخدم الشريحة المنخفضة من هذه النفاذ (HF) في الاتصالات بالراديو عندما ينعكس جزء من الطبقات المؤينة العليا، وإذا لم يتحقق هذا الانتشار فإن الترددات العالية تخترق الطبقات المؤينة وتسمى بالموجات الفضائية Space-Waves.

٣-٢ تشفير (تضمين) وتفسير الإشارات Modulation and Demodulation

الموجات الكهرومغناطيسية المستمرة (C.W) التى تولدها المذبذبات لا يمكنها أن تحمل معلومات ذكية ولكنها تستخدم كوسيط أو حامل للمعلومات التى نرغب فى تبادلها على إشارات الموجات الكهرومغناطيسية ويتم إضافة المعلومات المطلوبة عن طريق تعديل صورة الإشارات المرسله، وتسمى هذه العملية بالتعديل أو التضمين (Modulation). وعلى الجانب الآخر فى طرف الاتصال تقوم أجهزة الاستقبال بتفسير هذه الإشارات المعدلة ليبان ما تحتويه من معلومات، وهذه العملية تسمى Demodulation وقد تستخدم الموجات المستمرة غير المعدلة فى صورتها الجيبية فى بعض القياسات مثل قياس الزمن أو قياس الطور أو قياس الشدة والطاقة أو قياس الدوبلر أى أنها تستخدم فى أعمال القياس بينما العمليات الحسابية والتحكم من بعد والتخاطب فإنها تلزم بالضرورة إجراء تعديل للإشارة المرسله. ويتم التعديل فى أبسط صورة يخلط أو إضافة ذبذبات موجبة بصفة دورية إلى الموجات الأساسية الحاملة. وهناك عدة أنواع رئيسية من التعديل نوضحها فيما يلى:

١- تحميل (تضمين) السعة أو الشدة Amplitude Modulation (AM)

فى هذه العملية فإن الإشارة الأساسية أو الموجة الأساسية تحتفظ بترددتها بينما تسمح بتغير سعة الموجة أو ارتفاعها أو شدتها.

$$V = V_c \sin \theta_c \\ = V_c \sin (Wc t)$$

حيث (V) هي شدة الموجة فى أي لحظة

(Vc) هي أقصى شدة للموجة عندما يكون طورها ٩٠ درجة

(W) هي السرعة الزاوية

(t) الزمن

(θ) هي الزاوية التى يقاس عندها التشفير.

وإذا كانت أقصى شدة للموجة المشفرة هي (V_c) فإن معامل التشفير (α) تكون قيمته:

$$\alpha = \frac{V_c}{V_c}$$

وبدّل معامل التشفير (α) على عمق أو درجة التشفير. وبلاحظ أن حدود تعديل شدة الموجة الحاملة يتراوح بين أقصى قيمة له ($V_c + V_c$) وأقل قيمة له ($V_c - V_c$) وعلى ذلك فإن شدة الموجة في أي لحظة يمكن استنتاجها من المعادلة التالية:

$$V = (V_c + V_c \sin W_m t) \sin W_c t$$

حيث (W_m) هي السرعة الزاوية للموجة المشفرة. كما أن التفسير الجبري لهذه المعادلة يكون على الصورة التالية:

$$V = (V_c \sin W_c t) - \left(\frac{\alpha V_c}{2} \cos [W_c + W_m] t \right) + \left(\frac{\alpha V_c}{2} \cos [W_c - W_m] t \right)$$

ومن الواضح أن المعادلة الأخيرة تحتوي على ثلاثة أجزاء هي:

$$\begin{aligned} & V_c \sin W_c t, \\ & - \frac{\alpha V_c}{2} \cos [W_c + W_m] t, \\ & \frac{\alpha V_c}{2} \cos [W_c - W_m] t. \end{aligned}$$

وهذه الأجزاء تتناسب مع ثلاث ترددات:

$$(W_c), (W_c + W_m), (W_c - W_m)$$

والتردد الأول هو التردد الحامل الأساسي والتردد الثاني يعبر عن الشريحة العلوية من نطاق التردد، الجزء الثالث هي الشريحة السفلية من نطاق التردد.

ب- تمثيل (تضمين) التردد (Frequency Modulation (FM

في هذا النوع من التشفير فإن شدة الموجة الأساسية تظل بدون تغير بينما يتسم التعديل أو التغير في قيمة التردد فيزداد تردد الموجة الحاملة في نصف دورة بينما يقل في النصف الآخر منها.

ج- تعديل (تضمين) النبضة (Pulse Modulation (PM

يكون الإرسال في هذا التشفير غير مستمر وعلى شكل نبضات كل منها يحتوى على عدد من الموجات الحاملة ويتميز شكل التشفير بعرض النبضة أو فترتها والقواصل الزمنية بين كل منها وهذا ما يطلق عليه تشفير المورس. وتكون فترات النبضات مختلفة، فقد يكون التعديل مبنى على أساس نبضات طويلة ونبضات قصيرة مثلما يتم وفقا لإشارات المورس.

د- تعديل (تضمين) الطور (Phase Modulation (PM

فى هذا النوع من التعديل يمكن إجراء تأخير فى زمن الإشارة أو تغيير طورها بأن تكون بعض الموجات موجبة والبعض الآخر سالبة. كما يمكن إجراء تعديل بين نوعين أو أكثر من أدوات التعديل المتاحة، فمثلا يمكن عمل التعديل النبضى (P.M) مع تعديل السعة (A.M). وتتيح لنا الاختبارات العديدة بين وسائل التعديل بأن نحصل على إشارات تضمينية Modulated تحمل العديد من المعلومات المراد بثها.

٢-١ الاستقطاب الرأسى والأفقى

يحدث الاستقطاب الرأسى Vertical Polarization عندما يتطابق مستوى المجال الكهربائى للموجات الكهرومغناطيسية مع مستوى زاوية سقوط الإشارة على هوائى الاستقبال Incident Angle بينما يحدث الاستقطاب الأفقى Horizontal Polarization عندما يكون المجال الكهربائى للإشارة عمودى على مستوى الهوائى المستقبل أو أن زاوية السقوط تكون ٩٠°.

الفصل الثالث

مدارات الأقمار الصناعية

Satellite Orbits

٣- مدارات الأقطار الصناعية

٣-١- تجميد

تطورت علوم الفضاء تطوراً كبيراً فى السنوات القليلة الماضية وعرف الإنسان الفضاء واستطاع أن يهبط على سطح القمر وأن ينظم رحلات استكشافية للفضاء البعيد وأصبح فى الإمكان إطلاق العديد من الأقطار الصناعية التى تدور فى مدارات مختلفة وعلى ارتفاعات مختلفة من سطح الأرض. وقد استخدمت الأقطار الصناعية فى الأرصاد الجوية والاستشعار من بعد والاتصالات اللاسلكية وأغراض الملاحة بالإضافة إلى العديد من هذه الأقطار التى تدور حول الأرض ولها أغراض خاصة متعددة. وقد استخدمت الأقطار الصناعية فى الملاحة منذ عام ١٩٥٧ بعد أن نجحت روسيا فى إطلاق أول قمر يدور حول الأرض حيث تمكن بعض العلماء الأمريكيين من رصد حركة القمر بدقة وتحديد مكانه فى المدار الذى يدور فيه، ومن هنا نشأت فكرة استخدام الأقطار الصناعية فى تحديد موقع الراصد إما عن طريق قياس تأثير دوبلر كما فى حالة للأقطار الصناعية ترازيت أو قياس المسافات كما فى حالة الأقطار الصناعية جى.بى.أس.

٣-٢- التطور التاريخى لجيوديسيا الأقطار الصناعية

Historical Development of Satellite Geodesy

بدأ التطور المميز لجيوديسيا الأقطار الصناعية بإطلاق القمر الروسى SPUTNIK-1 عام ١٩٥٧ وفلاحة وضع القمرين SPUTNIK-2 وEXPLORER فى مدارهما، وأحدى أول النتائج بعد إطلاق أوائل الصواريخ والأقطار الصناعية كانت التحديد الفعلى لشكل الأرض وحساب تقاطع الأرض من معطيات الأقطار الصناعية لتكون $f = 1/298.3$ تبعها إطلاق الأقطار الصناعية الأمريكية ووصول كل من نيل آرمسترونج وألدرين إلى سطح القمر.

- ويمكن تقسيم مراحل تطور جيوديسيا الأعلام الصناعية إلى ثلاثة فترات:
- ♦ الفترة الأولى بين عامي ١٩٥٨ و ١٩٧٠ حيث تطورت فيها الطرق الرئيسية لرصد الأعلام وحساب وتحليل مداراتها. وتتميزت هذه الفترة بتعيين الاتجاهات وقياسات الأعلام الصناعية بواسطة كاميرا تصوير تسمى BC-4، وأطلق على مشروع القياسات بواسطة الأعلام الصناعية في ذلك الوقت برنامج BC-4 (Hofmann-Welenhof., 1992).
 - ♦ الفترة الثانية من ١٩٧٠ وحتى ١٩٨٠ حيث تميزت بتطور طرق قياس حديثة، مثل نظام قياس المسافات إلى الأعلام الصناعية بواسطة أشعة الليزر Satellite Laser Ranging (SLR) وكذلك طريقة قياس الارتفاعات بواسطة الأعلام الصناعية. ويظهر نظام ترانزيت TRANSIT ثم التمكن من تعيين إحداثيات جيوديسية للنقاط بطريقة الدوبلر DOPPLER (تعيين فروقات المسافات من قياس تغيرات الترددات الناتجة عن تغير السرعة بين الراصد والقمر الصناعي).
 - ♦ الفترة الثالثة والأخيرة من ١٩٨٠ وحتى ٢٠٠٠ حيث تم استخدام مكوك الفضاء والمركبات الاستكشافية للفضاء البعيد.

Satellites

٣-٣ الأعلام الصناعية

حتى يمكن تفهم إمكانيات الأعلام الصناعية في العمليات الملاحية يجب أولاً التعرف على بعض الخصائص الهامة لمدارات الأعلام والقوى التي تحكم حركتها في كل مدار وطرق الدفع والإطلاق ومصادر طاقتها.

يقصد بالقمر الصناعي أي جسم يصنعه الإنسان ويقوم بوضعه في مدار حول الأرض أو حول القمر أو حول أي كوكب في المجموعة الشمسية ويستقر في المدار الذي وضع فيه. وتتحرك الأعلام الصناعية وفقاً لنفس القوانين التي تحكم حركة الكواكب التي تدور حول الشمس، ومن هنا فإنها ترسم مدارات بيضاوية وقليلة الانحراف عن المركز وتقع نقاط مدارها على مسافات دنيا ونقاط قصوى من الأرض وتسمى الحضيض Perigee والذروة Apogee. أما الزمن الذي تستغرقه الأعلام للدوران دورة كاملة حول الأرض فإنها تسمى بالفترة ("T" Period) وتختلف سرعة القمر على المدار نظراً

لاختلاف بعدها عن الأرض وتصل أقصاها عندما يبلغ القمر نقطة الحضيض وإلى أدناها عندما يبلغ موقع الذروة في المدار Apogee. ويتطلب وضع القمر في مداره عمليتين: الأولى عملية رفعه من سطح الأرض حتى المدار الذي يتحدد مسبقاً والثانية هي إعطاؤه السرعة المدارية المناسبة لكي يظل ثابتاً على المدار. ويتعين أن تكون نقطة الحضيض مرتفعة عن الأرض بقدر المستطاع حتى نتجنب احتكاك القمر بالغلاف الجوي الذي له تأثير على عمر القمر وفترة بقاؤه في المدار المخصص له حيث تعمل قوة الاحتكاك بين القمر والغلاف الجوي على تغيير سرعة القمر وبالتالي يفقد خاصية ثباته في المدار. أما شكل القمر وهيكله ومواصفاته الميكانيكية والفنية فإنها تتوقف على عدة عوامل أهمها الغرض من القمر وكتلته عند إطلاقه شاملة التجهيزات التي يحملها من أجهزة اتصال وأجهزة تصوير أو تخزين أو مولدات الطاقة وقوة الصاروخ التي ينطلق به وعلى السرعة التي يجب أن يتحملها ودرجة الحرارة التي ينبغي أن يقاومها وأساليب تغذية القمر الصناعي بالطاقة، فالقمر الذي يستخدم بطاريات كهربائية سوف يختلف عن شكل القمر الذي يستخدم الطاقة الشمسية أو لوحات ذات خلايا فوتوكهرمية.

ومن المهم لدراسة الأقمار الصناعية أن نفهم الحقائق الأساسية التي يعتمد عليها أي نظام للأقمار الصناعية وأهم هذه الحقائق هي تحديد المدارات التي تسير عليها هذه الأقمار وعلاقتها بالقضاء الخارجي والسرعة الزاوية للأقمار والسرعة الخطية وارتفاعاتها عن سطح الأرض وفترة دورانها حول الأرض. وقد وضع نيوتن Newton عام ١٦٨٧ الأسس البديهية للميكانيكا الحديثة التي تشرح نظرية الدفع وأن التجاذب المتبادل بين الكواكب وبعضها في المجموعة الشمسية ينظم حركاتها ببعضها كما أوضح أن قوة التجاذب تتناسب طردياً مع كتلة الأجسام وعكسياً مع مربع المسافة بينها. وتحمل الأقمار الصناعية للقضاء الخارجي بواسطة صواريخ إطلاق للقضاء قادرة على الخروج من الجاذبية الأرضية بسرعة مناسبة وقادرة أيضاً على حمل الأوزان الملحقة لكل قمر صناعي حتى يوضع في مداره الخارجي.

فإذا ما تم التقلب على مجال الجاذبية الأرضية أصبح من السهل بعد ذلك وضع القمر في مداره وتعديل المدار وتعديل الارتفاع والسرعة وما إلى ذلك وهو بعيداً عن مجال الجاذبية الأرضية.

٣-٣-٣- قوانين كبلر

قوانين الحركة التي تحكم حركة الأقمار في الفضاء قام بوضعها الفلكي الألماني الأصل جوهانس كبلر الذي درس مدارات الكواكب حول الشمس والتي تتفق مع حركة الأقمار الصناعية حول الأرض. وتعتمد هذه القوانين في صياغتها على اعتبار أن الأجسام الكونية كتلة مركزة في نقطة واحدة وأن القوى التي تحكمها هي قوة الجاذبية الناشئة بين هذه الكتل الكونية. وإذا اعتبرنا أن الأقمار الصناعية ستكون واقعة تحت تأثير جاذبية الأرض وحدها فإن قوانين كبلر يمكن صياغتها كالآتي:

أ- مدارات الأقمار الصناعية هي مدارات بيضاوية أي على شكل قطع ناقص أو على شكل قطع مكافئ أو قطع زائد وأن كتلة الأرض وجاذبيتها تتركز في إحدى بؤرتي المدار.

ب- المتجه (Vector) هو الخط الواصل بين مركز جاذبية الأرض ومركز جاذبية القمر الصناعي وهو يجمع مساحات متساوية في أزمنة متساوية وهذا يعني أن سرعة دوران القمر عند نقطة الحضيض أكبر من سرعة القمر عندما يكون أبعد ما يمكن بالقرب من نقطة الأوج (شكل ٣-١).

ج- إذا كان القمر الصناعي يدور في مدار دائري فإن مربع فترة المدار حول الأرض متناسب مع مكعب نصف القطر لهذا المدار أي أن $(T^2 \propto R^3)$ حيث (T) هي فترة المدار، (R) بعد القمر عن مركز الأرض.

٣-٣-٤ استقرار القمر في مداره حول الأرض

تصف قوانين الجاذبية استقرار القمر في مداره حول الأرض حيث تؤثر على القمر في مداره قوتان رئيسيتان الأولى هي قوة الجذب بين الأرض والقمر ويكون اتجاهها في اتجاه مركز الكرة الأرضية وتناسب قوة الجذب

(f_g) Gravitational Force مع حاصل ضرب كتلتي القمر والأرض وعكسيا مع مربع المسافة بينهما (R^2)، أي أن:

$$f_g = \frac{m_e m_s}{R^2}$$

أما القوة الثانية فهي القوة الطاردة المركزية (Centrifugal Force (f_c) وهذه بدورها تعمل في اتجاه معاكس لقوة الجذب ويكون اتجاهها بعيدا عن مركز الأرض وتناسب القوة الطاردة المركزية طرديا مع مربع السرعة الخطية للقمر (V^2) وكتلته وعكسيا مع بعد القمر عن مركز الأرض (R)، أي أن:

$$f_c = \frac{m_s V^2}{R}$$

وإذا ما تساوت القوتان حيث يكون القمر في مداره مستقرا محافظا على مسافته من مركز الكرة الأرضية ومحافظا على سرعته وعلى فترة دورانه حول الأرض فإن:

$$f_g = f_c$$

ومنها:

$$\frac{m_e m_s}{R^2} = \frac{m_s V^2}{R}$$

ومنها فإن:

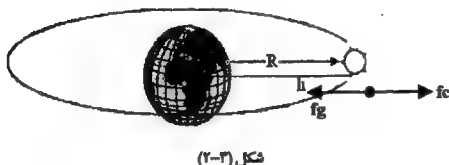
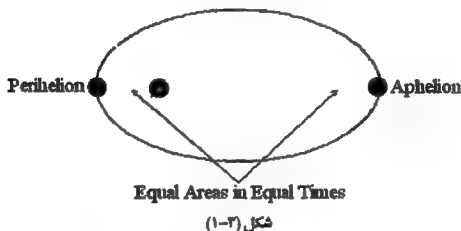
$$V = \sqrt{\frac{m_e}{R}}$$

وحيث أن (R) تعادل قطر الكرة الأرضية (r) وهو قيمة ثابتة بالإضافة إلى ارتفاع القمر عن سطح الأرض (h) أي ($R = r + h$)، فإن قيمة السرعة (V) تصبح:

$$V = \frac{K}{\sqrt{r+h}}$$

حيث (K) هي قيمة ثابت الجاذبية وتعادل (630) و(r)، (h) هي نصف قطر الأرض وارتفاع القمر عن سطح الأرض على التوالي. ويتضح من المعادلة السابقة أن السرعة (V) تتناسب عكسيا مع ارتفاع القمر (h) أي أن لكل ارتفاع لأي مدار يوجد له سرعة (V) التي عندها تعادل

كل من قوة الجذب (f_g) والقوة الطاردة المركزية (f_c). وعلى ذلك فإن تحديد ارتفاع المدار الفراد وضع القمر به يحدد السرعة المطلوب إكسابها للقمر حتى يستقر في هذا المدار مع افتراض عدم وجود أي مؤثرات أو قوى خارجية تؤثر أو تغير من القوى الرئيسية الواقعة على القمر في مداره والقوى الخارجية التي قد تؤثر بقيم مختلفة على القمر، فإذا كانت القوتان متعادلتان في القيمة، فإن القمر يستقر في مداره: أما إذا لم تتساوى القوتان، فإما أن يقل ارتفاع القمر حتى يدخل القمر في الغلاف الجوي للأرض ويحترق أو أن الارتفاع يزداد ويبعد القمر عن الأرض ويسبح في الفراغ اللانهائي ويدخل في مجال جاذبية آخر. ويوضح الشكل (٢-٣) القوى المؤثرة على القمر في مداره حول الأرض.



Perturbation

٣-٣-٣ الاضطراب المداري

يستقر القمر في مساره في مداره حول الأرض بصفة مستمرة ما لم تؤثر عليه قوى خارجية تغير من هذا المسار أو تغير من هذه السرعة والارتفاع الذي يدور عليه القمر. وإذا أثرت على القمر الصناعي قوة خارجية فقد تسبب في نقله من مدار إلى مدار آخر وعندئذ يقال أن القمر الصناعي قد اضطرب Perturbed وينشأ الاضطراب المداري من المؤثرات التالية:

أولاً: قوة الاحتكاك الناتجة عن الغلاف الجوي وهي تؤثر على الأقمار ذات الارتفاعات المنخفضة (LEO) Low Earth Orbit، فعندما يكون القمر على مدار منخفض نسبياً في حدود بين ١٠٠٠-٥٠٠٠ كم فإنه يطلق عليه مدار منخفض ويكون معرضاً للاحتكاك مع بقايا ذرات وجزيئات الهواء الموجودة في الفراغ المحيط بالأرض وبمعل هذا الاحتكاك على مقاومة حركة القمر وبالتالي تنخفض السرعة (V) مما يؤثر بدوره على حالة استقرار القمر (Equilibrium) إذا اختلفت السرعة.

ثانياً: اختلاف جاذبية الأرض، فبقوة جذب الأرض الناتجة من عدم تساوي وتجانس كتلة الأرض وعدم تساوي سطح الأرض تؤثر بالزيادة أو النقص في قيمة قوة الجذب وبالتالي تؤثر على مدار القمر بحيث تجعله يبادر بحركته في مدار يختلف عن المدار الأصلي ويسمى التأثير النهائي بالمبادرة Precession وهذا التأثير يجعل المدار ينحرف بمعدل زاوى سنوياً ويزداد تأثير الجاذبية على الأقمار الصناعية ذات الارتفاع المنخفض (LEO) حيث أن قوة الجذب تناسب عكسياً مع مربع بعد القمر عن الأرض ويقبل تأثيرها على الأقمار البعيدة والثابتة (HEO) مثل أقمار الاتصالات (Geostationary).

كما أن اختلاف سرعة دوران الأرض حول الشمس يؤثر على عدم انتظام سرعة القمر الصناعي حول الأرض. ومن أكثر الأمور الشائعة التي تؤثر على حركة الأرض هو عدم ثبات محور دورانها الذي يرسم شكل مخروطي في الفراغ ويتعرض للمبادرة على المدى

الزمنى الكبير، وبالتالي يتضح أن الأقمار ذات الارتفاع المنخفض تتأثر بشدة بكتلة وجاذبية الأرض بينما يقل هذا التأثير للمدارات المرتفعة.

ثالثاً: قوة الجذب التى تسببها المجموعة الشمسية، فعند اقتراب الأرض وما حولها من أقمار صناعية من أحد الكواكب فى المجموعة الشمسية أو اقتراب الأرض من الشمس فى دورتها السنوية، فإن قوى الاستقرار المؤثر على القمر والتى تحدد على أساس السرعة المقابلة للارتفاع قد تختل وبالتالي تتسبب فى اضطراب مدار القمر ويزداد هذا الاضطراب لجاذبية المجموعة الشمسية للقمر الصناعية العالية (HEO) High Earth Orbit عنها فى الأقمار المنخفضة.

٣-٣-٤ الدفع الدافع للأقمار الصناعية

يتضح من العرض السابق أن حالة الاستقرار الذى تتعادل فيه سرعة القمر الخطية (V) مع الارتفاع (h) تتعرض دائماً لمؤثرات خارجية تتطلب وجود قوة دفع ذاتية بالقمر الصناعي نفسه تعمل على المحافظة على وجود القمر فى مداره وكلما خرج القمر عن هذا المدار تعمل قوة الدفع (Thrusters) على إعادة القمر إلى مداره وهذا يتطلب وجود العديد من (النزل Nossels) أو فتحات الضغط التى تعمل تلقائياً كلما خرج القمر عن مداره لتعيده مرة أخرى للمدار المحدد له، وتعمل هذه النزل أو الدفع النفاث بواسطة الوقود السائل الذى يحمله القمر ويستهلك خلال العمر الافتراضى للقمر.

ومما هو جدير بالذكر أن استهلاك القمر من الوقود النفاث ضئيل جداً حيث يحتاج إلى كمية قليلة جداً لضبط القمر فى مداره وبالطبع سيكون استهلاك الوقود أكبر منه عندما يكون القمر على مدار منخفض (LEO) من سطح الأرض إذ عليه أن يقاوم كل من اختلاف الجاذبية الناتج عن اختلاف سطح الأرض وعن مقاومة الاحتكاك الناشئ عن جزيئات الهواء المتبقية فى المحيط الخارجى للأرض. أما الأقمار ذات الارتفاعات الكبيرة (HEO) والمتوسطة (MEO) فإن استهلاكها من الوقود يكون ضئيلاً جداً وبالتالي

نفترض أن فترة بقائها في مدارها تكون نسبياً أكبر من العمر الافتراضي للأقمار المنخفضة والقريبة من سطح الأرض لنفس كمية الوقود التي يحملها القمر؛ وعادة تستخدم الغازات المسالة لدفع والمحافظة على القمر في مداره أثناء فترة تشغيله.

Power Supply

٣-٤ مصادر الطاقة

تناسب أنواع وطاقة مصادر التغذية مع وظيفة القمر الصناعي ومدة بقائه في التشغيل وعلى مقدار الطاقة اللازمة لتشغيل الأجهزة الموجودة وعلى المدار الذي يدور فيه وارتفاعه وفترة دورانه. وبعض الأقمار الصناعية تعمل بصفة إيجابية Active وفي هذه الحالة فإنها تستقبل إشارات وترسل إشارات وتكون لها أجهزة تحكم وأجهزة استقبال وإرسال وذاكرة ووحددة تشغيل البيانات كما هو الحال في الأقمار الصناعية المستخدمة في الملاحة. كما توجد أقمار أخرى من النوع الغير إيجابي Passive وهو النوع الذي يقوم بإرسال الصور المرئية مثل أقمار الأرصاد والتصوير الجوي والاستشعار من بعد والأقمار المستخدمة في الاتصالات. وكلما زادت الوظائف التي يؤديها القمر زاد بالطبع مقدار الطاقة اللازمة لتشغيله، ويمكن أن يستمد القمر الصناعي الطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيل ما يحمله من أجهزة بأحد الوسائل التالية:

Dry Batteries

أولاً: التخذية عن طريق البطاريات الجافة

استخدمت البطاريات الجافة في الأجيال الأولى من الأقمار الصناعية والتي يتطلب عملها بضعة أسابيع فقط ولا يستلزم وجود وحدة تغذية ذو طاقة كبيرة غير أن قصر مدة استخدام البطاريات بالمقارنة مع التكلفة الكبيرة التي تصاحب إطلاق الأقمار في مدارها جعل التفكير يتجه إلى مصادر تغذية أكثر استمرارية ويمكنها أن تمد القمر بالطاقة الكهربائية بفترة طويلة.

Isotopes

ثانيها: المواد المشعة

استخدمت المواد المشعة التي تكون لها خاصية النظائر المشعة Radio Active في توليد الطاقة اللازمة للألفار الصناعية واستخدمت المواد المتناظرة Isotopes التي تعادل فيها عدد الإلكترونات مع عدد النيوترونات، إلا أن استخدام هذه المواد المشعة كان محاذير كبيرة خاصة في الألفار ذات الارتفاع المنخفض والتي يحتمل أن تفقد ارتفاعها وتدخل الغلاف الجوي، ورغم أن الألفار الصناعية تحترق بفعل الاحتكاك عندما تدخل الغلاف الجوي إلا أن التخوف ظل سائداً من تسرب المواد المشعة إلى الأرض ولذلك بدأ التفكير في مصادر أخرى مثل الطاقة الشمسية.

Photo Cells

ثالثاً: الطاقة الشمسية

بدأ استخدام الطاقة الشمسية كبديل للمصادر المعروفة للطاقة، وتعتبر الطاقة الشمسية أكثر مصادر الطاقة نظافة وأكثرها استمرارية. وقد ساعد على التوسع في استخدام الطاقة الشمسية اكتشاف المواد البلورية من السيليكون النقي وتصنيع المواد النصف موصلة Semi Conductor والتي يمكنها تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية كما تم تصنيع الخلايا الشمسية من المواد البلورية Silica Crystal Solar Cell كما استخدمت أيضاً الطاقة الحرارية للشمس Solar Thermoelectric والطاقة الديناميكية Solar Dynamic System وتستخدم معظم الألفار الصناعية حالياً الطاقة الشمسية التي تقوم بتأيين الجزيئات البلورية مثل الكالسيوم أرسنيد Calcium Arsenide الموجودة في هذه المواد وتجعلها مؤينة أي لديها فرق جهد يتناسب مع مساحة السطح المعرض للشمس وتقوم هذه الخلايا بإمداد أجهزة الإرسال والاستقبال بالقمر بالطاقة اللازمة عندما يكون القمر في النصف المضيء من الكرة الأرضية، وتبلغ مساحة كل خلية شمسية حوالي ١,٨ سم² ويمكن للخلية الواحدة أن تعطي طاقة كهربائية قدرها ١١ م/وات كما يتم

تزويد وحدات التغذية بواسطة بطاريات النيكل كادميوم Cadmium Nickle والتي يمكنها تخزين الطاقة أو يمكن إعادة شحنها في فترة وجود القمر في النصف المضيئ ثم يعاد استخدام هذه الطاقة عندما يكون القمر في النصف المظلم من الأرض. وقد أمكن استخدامها بصفة متجددة غير أن نوعيات البطاريات المساعدة المستخدمة تكلف بعد فترة قد تصل إلى سبعة سنوات وعندئذ يلزم إعادة إطلاق أقمار بدلا من التي نفذت طاقتها أو استبدال البطاريات التي نفذت مفعولها. ومرة أخرى فإن الأقمار الصناعية المنخفضة يكون لها تأثير سلبي على عمر تشغيل البطارية القابلة لإعادة الشحن حيث تقل قوتها في كل مرة يعاد شحنها.

٣-٥ العمر الافتراضي للأقمار الصناعية

لا يوجد وقت محدد لعمر القمر الصناعي، فعمره يعتمد على عوامل كثيرة منها ارتفاع القمر ودوائر التشغيل به أو مقدار الطاقة التي يستهلكها القمر. وعموما يمكن تحديد العمر الافتراضي وفقاً للعوامل التالية:

أولاً: نوع وشكل وحجم البطاريات المستخدمة في إعادة الشحن بالطاقة الشمسية وهي بالتالي تتناسب مع احتياجات القمر من طاقة التشغيل.

ثانياً: كمية ونوع الوقود المستخدم في المحافظة على القمر في مداره وهي بالتالي تعتمد على ارتفاعه ومقدار المؤثرات الخارجية التي تعمل على اضطراب العمر.

ثالثاً: التغير الذي يحدث في التكنولوجيا المتاحة على الأرض، فما حدث من استخدام الدوائر الرقمية قد عجل من تغير الأقمار الصناعية التي كانت تعمل على الدوائر التناظرية.

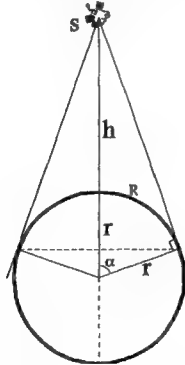
٣-٦ دائرة الإسقاط

Projected Circle

لكل قمر صناعي يدور حول الأرض دائرة إسقاط على سطحها وهي الدائرة التي تحدد المنطقة الجغرافية التي يمكن رصد القمر منها والحصول على

بيانات الإشارات التي يقوم بينها وتناسب مساحة هذه الدائرة مع ارتفاع القمر عن سطح الأرض فكما زاد الارتفاع زاد نصف قطر هذه الدائرة. فالأقمار الصناعية جى.بى.أس التي يبلغ ارتفاعها ٢٠,٠٠٠ كيلومتر يبلغ نصف قطر دائرة إسقاطها على سطح الأرض حوالى ٨٥٠٠ كيلومتر بينما يبلغ نصف قطر أقمار الملاحة ترازيث التي لدور على ارتفاع ١٠٧٥ كيلومتر حوالى ٢٥٠٠ كيلومتر بينما يصل نصف قطر أكبر دائرة إسقاط لأقمار الاتصالات البحرية Immarsat التي يبلغ ارتفاعها نحو ٣٦,٤٠٠ كيلومتر حوالى ٨٠٠٠ ميل بحرى (٣٧٠ من خطوط العرض).

ومعنى ذلك أنه لا بد من نشر عدد من الأقمار الصناعية فى مدارات مختلفة حتى نضمن تغطية سطح الأرض مع وجود مناطق ذات تغطية مزدوجة Overlapped حتى تتأكد إمكانية الاتصال بالأقمار الصناعية فى أي مكان على سطح الأرض. ويوضح الشكل ٣-٣ القوس على سطح الأرض (R) الذى يتناسب طوله مع ارتفاع القمر (h) عن الأرض.



شكل (٣-٣): دائرة رصد القمر على سطح الأرض

من الشكل (٣-٣) يمكن الحصول على قيمة الزاوية (α) كالآتي:

$$\cos \alpha = \frac{r}{r+h}$$

حيث (٣) هي نصف قطر الأرض و(h) هو ارتفاع القمر.

أما نصف قطر دائرة الإسقاط (R) فيمكن استنتاجها كالآتي:

$$R = \frac{\alpha}{360} \times 2 \pi r$$

Orbit Inclination

٣-٧ ميل المدار

يعرف الميل بمقدار الزاوية المحصورة بين مستوى المدار Orbital Plane ومستوى خط الاستواء من الجانب الشرقي ويتراوح الميل من أصغر قيمة له مساوية للصفر عندما ينطبق كل من مستوى المدار على مستوى خط الاستواء إلى أكبر قيمة له عندما يكون مستوى المدار عموديا على مستوى خط الاستواء.

وفي السطور التالية نبين خصائص المدارات الصغرية المنطبقة على خط الاستواء وتلك القطبية العمودية على خط الاستواء وعندما يكون ميل المدار قيمة بين الصفر، ٩٠ تكون خصائصها متباينة حسب قربها لأي من المستويين المذكورين.

Equatorial Orbit

٣-٧-١ المدار الاستوائي

يوضح الشكل (٣-٤) كل من مستوى خط الاستواء ومستوى المدار ويتميز هذا المدار بأن القمر يتحرك على دائرة خط الاستواء وبالتالي يكون خط العرض الجغرافي للقمر مساويا للصفر لأنه منطبق على خط الاستواء ويختلف خط الطول بعا لتحركة وسرعة القمر النسبية مع حركة الأرض. فإذا كان القمر قريبا من سطح الأرض (LEO) فإن حركة القمر من الغرب إلى الشرق تكون أسرع من حركة الأرض حول نفسها في نفس الاتجاه، فإذا كانت فترة القمر في مداره مقدارها ساعة واحدة فإنه عندما يكمل القمر هذه الدورة تكون الأرض قد دارت حول نفسها بعدد من درجات خط الطول تعادل ساعة واحدة أي ١٥° وبذلك يكون الموضع الجغرافي للقمر مزاحا في اتجاه

الغرب بمعدل 15° وهكذا... أما مقدار ما يغطيه القمر من خطوط العرض شمال وجنوب خط الاستواء فإنه يتوقف على ارتفاع القمر، فكلما زاد ارتفاع القمر تزداد فترة الدوران (T) وبالتالي تزداد مساحة التغطية في اتجاه الشمال والجنوب والشرق والغرب أي أن دائرة الإسقاط تزداد حتى يصل ارتفاع القمر إلى ارتفاع معين (3600 كيلومتر) من سطح الأرض، وعند هذا الارتفاع (T) تكون فترة الدوران مساوية تماما لفترة دوران الأرض حول نفسها (يوم نجمي 23 ساعة) وعندئذ يقال أن القمر ثابت نسبيا في المدار Geostationary وعندها فإن الموقع الجغرافي للقمر يثبت على خط الاستواء وعلى خط طول معين ويظل هكذا موقعه النسبي للأرض ثابتا وتظل تغطية هذا النوع من الأقمار حوالي 92% من خطوط الطول وخطوط العرض في جميع الاتجاهات.

ويتضح من ذلك أن الأقمار الصناعية الاستوائية التي ميلها صفر لا يمكنها تغطية خطوط العرض العليا ويصل أقصى خط عرض يمكن رصد الأقمار منه هو خط العرض 70° شمالا وجنوبا في حالة الأقمار الصناعية الثابتة نسبيا مثل أقمار الاتصالات البحرية Inmarsat وأقمار الاتصالات المستخدمة في بث الإرسال التلفزيوني حيث لا يمكن رصدها من خطوط العرض التي تزيد عن 70° ويظل موقعها الجغرافي ثابتا لفترة دورانها مساوية تماما لفترة دوران الأرض حول نفسها. وتستخدم هذه الأنواع في أغراض الاتصالات السعوية والمرئية.

Polar Orbit

٣-٧-٣ المدارات القطبية

يوضح الشكل (٣-٥) الميل القطبي لهذا النوع من الأقمار الصناعية عندما يكون الميل مقداره 90° فتكون هناك حركتان متعامدتان وهما حركة القمر في اتجاه الأقطاب أي من الجنوب إلى الشمال أو من الشمال إلى الجنوب وحركة الأرض من اتجاه الغرب إلى اتجاه الشرق، وهاتان الحركتان المتعامدتان تتيحان للقمر رصد كل نقطة على سطح الأرض سواء بالقطب من خط الاستواء أو الأقطاب.



وتتراوح الفترة بين رصد القمر بين دورتين متتاليتين على فترة مداره أي ارتفاعه وعلى مكان الراصد على سطح الأرض، فإذا كان الراصد موجود في الأقطاب أو بالقرب منها فإن الفترة المحصورة بين رصدتين متتاليتين لنفس القمر تعادل فترة مدار القمر نفسه وتزداد هذه الفترة إذا انخفض خط عرض الراصد حتى يقترب من خط الاستواء وعندئذ يمكن رصد القمر مرتين أحدهما عندما يكون القمر متجها من الجنوب إلى الشمال والثانية عندما يكون متجها من الشمال إلى الجنوب وتكون الفترة الزمنية بين الرصدتين أكبر مما يمكن. وبالحظ أن خط عرض نقطة الإسقاط للقمر تتحرك من خط الاستواء إلى أن تصل إلى أكبر قيمة لها تعادل الميل (٩٠) في هذه الحالة شمالا وجنوبا.

وتستخدم هذه الأنواع من الأقمار عندما يراد رصد جميع أجزاء الكرة الأرضية مثل أقمار الاستطلاع Cospos BAR SAT وأقمار الأرصاد الجوية Meteo SAT وأقمار الاستشعار من بعد Spot, Land SAT حيث يمكنها توفير تغطية شاملة للكرة الأرضية بقمر واحد فقط على فترة زمنية تتوقف على ارتفاع القمر.



شكل (٢-٤): المدار الاستوائي



شكل (٣-٥): المدار القطبي

Launching Satellites

٣-٨ إطلاق الأقمار الصناعية

من أهم العوامل اللازمة لإطلاق الأقمار الصناعية أن تتمكن الصواريخ التي تحملها من اكتساب سرعة كبيرة جداً عند الإطلاق، ولذلك يجب الإقادة من السرعة الطبيعية لدوران الأرض حول نفسها والتي تبلغ أقصى قيمة لها عند خط الاستواء والتي تعادل ٩٠٠ ميل/ساعة أو ما يعادل ٤٦٣ كيلومتر/ساعة، وتقل هذه السرعة لتبلغ صفر عند الأقطاب وحوالي ٠,٢٣ كم/ثانية عند خط عرض ٩٠°، ولذلك فإن الأقمار الصناعية يتم إطلاقها من أقرب مكان ممكن من خط الاستواء للاستفادة من سرعة الأرض وكان اتجاه الإطلاق في الاتجاه الشرقي أي في نفس اتجاه دوران الأرض. ويوجد عدد قليل من محطات إطلاق الصواريخ الحاملة للأقمار الصناعية في العالم، فالولايات المتحدة لديها قاعدتين أحدهما في كيب كندي بفلوريدا على خط ٢١° شمال خط الاستواء وهي أقرب موقع مناسب للإطلاق من الولايات المتحدة، أما القاعدة الثانية فتوجد في كاليفورنيا

على ساحل الباسيفيك ومن خلالهما يمكن إطلاق مكوك الفضاء (Shuttle) الذى ينطلق صاروخياً من الأرض ويعود إليها على شكل طائرة. أما فرنسا فإنها بالاشتراك مع المجموعة الأوروبية تقوم بإطلاق الصاروخ آريان من القاعدة الفرنسية (جوان) فى البحر الكاريبي على خط عرض 5 درجات شمالاً مستفيداً بأكبر قدر من سرعة الأرض. أما روسيا فإن قاعدتها تقع بالقرب من بحر قزوين على خط عرض 39 درجة وتستعاض عن فقدانها لسرعة دوران الأرض عند هذا المكان بزيادة قوة الدفع وتخفيض حمولة الصواريخ وما تحمله من أقمار.

كما أن خط العرض الذى نطلق منه الصواريخ يحدد قيمة الميل المبدئى لمستوى المدار أى أنه يمكن إطلاق القمر مباشرة للميل المعادل لخط عرض الإطلاق، أما إذا اختلف الميل المطلوب عن خط عرض الإطلاق فإن الأمر يحتاج إلى بعض الوقت حتى يتم حقن القمر فى مداره النهائى. والسرعة التى يحتاجها القمر للإطلاق من سطح الأرض مناسب مع جاذبية الأرض ومثل هذه السرعة عندما يتم إطلاق المركبات الفضائية عند عودتها من القمر إلى الأرض حيث أن السرعة المطلوبة لإلانتها من جاذبية القمر تكون صغيرة بالنسبة للسرعة المطلوبة فى حالة انطلاقها من سطح الأرض وفصل السرعة المطلوب للخروج من الجاذبية الأرضية على خط الاستواء فى الاتجاه الشرقى 6.89 كم/ثانية.

وتستخدم طاقة هائلة لدفع الصاروخ الذى يحمل هذه الأقمار حتى يمكنه التغلب على قوة الجاذبية الأرضية، وقد قدرت هذه الطاقة المطلوبة لدفع وزن مقداره رطل واحد خارج المجال الجوى للأرض بحوالى 50 مليون قدم/رطل ويقوم الصاروخ الذى يحمل القمر بحمل كمية كبيرة من الوقود فى وجود عامل مختزل Oxidizer ويعمل الاختزال على توليد كمية كبيرة من الغازات ذات الحرارة العالية والضغط العالى جداً وعند خروجها من نزل Nuzzle دو فتحات صغيرة وتسمى مجموعة غرفة الاحتراق وجهاز تزويد الوقود وأنبوب طرد الغازات بـ Propellant وتولد الغازات قوة دفع هائلة Thrust تدفع الصاروخ بالقمر بعيداً عن سطح الأرض وتسمى الضغط

اللحظى الكلى (Total Impulse) وحتى يتمكن الصاروخ من الاندفاع بعيداً عن سطح الأرض، يجب أن يكون له قوة دفع Thrust أكبر كثيراً من وزن الصاروخ وما يحمله من ألفار صناعية أو أشخاص.

$$T \gg W$$

حيث: (T) = قوة الدفع Thrust

(W) = الوزن Weight

وعندئذ تكون عجلة الاندفاع لأعلى (A) Acceleration مقدارها:

$$A = \frac{T - W}{W} \times g$$

حيث:

A = العجلة التسارعية لأعلى

W = وزن الصاروخ وما يحمله من ألفار ووقود

T = قوة الدفع الذى يحدثه اندفاع الغازات

g = الجاذبية الأرضية.

وحيث أن الصاروخ يحرق كمية كبيرة من الوقود بصفة مستمرة، فإن وزن الصاروخ يتناقص تدريجياً وبالتالي فإن عجلة التسارع (A) سوف تزداد بصفة مستمرة وعندما يرتفع الصاروخ تدريجياً فإن الجاذبية الأرضية تقل تدريجياً وهذا أيضاً يساعد على التعاقل الحركى (A) وبذلك فإن العجلة المتوسطة سوف تكون:

$$A_{ave} = \frac{T - W}{W/g}$$

وتبلغ السرعة المتوسطة للصاروخ فى مرحلة الانطلاق حتى بلوغه المدار بتكامل مقدار العجلة بالنسبة للوقت:

$$V \int = A_{ave} \times t.$$

حيث:

A_{ave} = متوسط العجلة المتزايدة لحركة الصاروخ

t = الوقت الذى يستغرقه الصاروخ بالقمر حتى يصل إلى المدار المطلوب.

ولتقليل وزن الوقود الذي تحمله مركبة الإطلاق الصاروخية يستخدم الدفع الأيونى الذى يتكون من جزيئات أولية نشطة تكتسب سرعة فائقة نتيجة لمفعول مجال كهرومغناطيسى تبلغ شدته ١٠٠٠ فولت وقد مكنت وسائل الدفع الحديثة من الحصول على سرعات عالية جداً عند الإطلاق تبلغ ٤٠٠٠ متر/ثانية كما أن المحاولات مازالت مستمرة للحصول على وسائل دفع أكثر كفاءة باستخدام قوة الدفع الناجمة عن الضغط الذى تجده الفوتونات أو جزيئات الضوء والذى يسمى بالدفع الفوتونى.

ويتضح من العرض السابق أنه من المرغوب فيه إطلاق الصاروخ فى عدة مراحل حتى يمكن التخلص من الوزن الزائد لخزانات الوقود وتخفيف وزن الصاروخ وبالتالي زيادة العجلة وزيادة سرعة الصاروخ وتقليل ما يحتاجه من وقود لتكملة رحلة خاصة فى الوضع الأفقى الموازى تقريباً لسطح الأرض وعندما نرغب فى زيادة السرعة النهائية للصاروخ، فإن تصميم مراحل إطلاق الصاروخ يمكننا من إكساب القمر الصناعى السرعة المطلوبة لكي يحافظ على الارتفاع المطلوب فى مداره، كما أن مراحل الإطلاق قد ساعدت فى تعديل خط سير الصاروخ، ولم يعد من الضروري إطلاق الصاروخ من خط العرض المساوى لميل المدار المطلوب بل أمكن إطلاق القمر من أي مكان وتعديل المسار أثناء تغير مراحل الصاروخ بالتخلص من الوزن الزائد وإطلاق الدفعة اللازمة من الاحتراق للسرعة الجديدة وأيضاً تعديل اتجاه مسار الصاروخ حتى يصل إلى المدار النهائى الذى يستمر فيه القمر الصناعى Injected Orbit.

ويمكن الاستفادة من خصائص المدارات مع مراحل إطلاق الصاروخ لوضع القمر الصناعى فى المدار المطلوب بأقل جهد ممكن. فمثلاً عندما يكون المطلوب وضع القمر فى مدار دائرى فإنه يتم دفعه عندما يصل إلى نقطة الحضيض وعندما يصل الصاروخ إلى نقطة الأوج من هذا المدار فإنه يكون قد وصل إلى المدار الدائرى فى ارتفاع المطلوب ولكن سرعته فى هذه النقطة تكون أقل من سرعة المدار الدائرى ويمكن تعويض هذا النقص فى سرعة الصاروخ بواسطة إطلاق مرحلة أخرى فى الاتجاه الموازى لسطح

الأرض في هذه الحالة سيكون القمر الصناعي في مدار دائري موازى لسطح الأرض وعلى الارتفاع المطلوب ويسمى المدار البيضاوى Elliptical Orbit الذى دفع إليه قبل الوصول إلى المدار الدائرى بالمدار الوسيط Transfer Orbit.

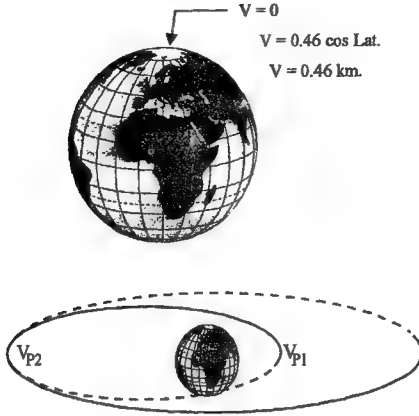
٣-٩ منق القمر في المدار الدائري Injection into Orbit

لكل مدار من المدارات سرعة معينة وهي التى تعمل على احتفاظ القمر بدورانه في هذا المدار، أما اتجاه الدفع فيجب أن يكون في الاتجاه الذى يمس هذا المدار وفي جميع الحالات فإن الحقن أو الدفع يجب أن يكون موازياً تماماً لسطح الأرض.

وبوضـح الشكل (٣-٦) مراحل إطلاق القمر من خط الاستواء في اتجاه دوران الأرض، وعندما يصل الصاروخ الذى يحمله إلى نقطة الحضيض للمدار البيضاوى الوسيط فإنه يتخلص من خزانات الوقود التى ساعدته على الارتفاع من سطح الأرض حتى الوصول إلى هذا الارتفاع ثم تشتت المرحلة الثانية وتغير من اتجاه الصاروخ وتعديل من السرعة ليكتسب سرعة تناسب موقع القمر في نقطة الحضيض في المدار.

وعندما يصل الصاروخ إلى أقصى ارتفاع له في نقطة الأوج تبدأ المرحلة الثالثة والأخيرة ويتم اشتعال المرحلة الثالثة من الإطلاق التى تعدل من المسار والسرعة بحيث يكون المسار موازياً تماماً لسطح الأرض والسرعة تناسب تماماً الارتفاع المطلوب أن يكون عليه مدار القمر الدائرى حول الأرض.

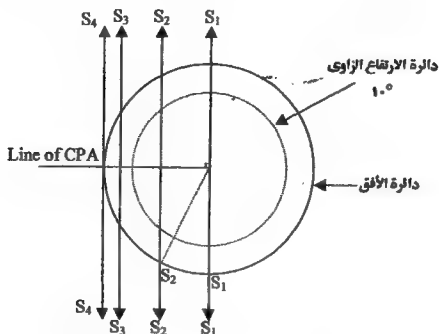
وتزود الأقمار بوسائل دفع ذاتية Hydrazine Thrusters على شكل نزل صاروخي أو محرك ثقات تعمل تلقائياً أو بالتحكم من بعد لتصحيح وضع القمر في مداره بدقة تصل إلى متر واحد في أغلب الأحيان. ويتم موازنة كل قمر Stabilized عن طريق كمية الحركة الناتجة عن مغناطيسيات قوية والتي تكسبه حركة دورانية حول نفسه ليكتسب قصور ذاتي Gyroscopic Inertia تحافظ على توجيهه الخلايا الشمسية في اتجاه الشمس وتوجيه الهوائى في اتجاه سطح الأرض.



شكل (١-٢): مراحل إطلاق الصواريخ حتى حقن القمر في مداره

١٠-٣ الإسقاط على دائرة الأفق

يوضح الشكل (٧-٣) إسقاط لدائرة الأفق لرصد يتواجد في مركزها (P) ويختلف نصف قطر دائرة الأفق تبعاً لارتفاع عين الرصد والتي لزيادة ارتفاع عين الرصد وتمثل الخطوط (S₁)، (S₂)، (S₃) مسارات الأقمار الصناعية في سماء الرصد. ويوضح المسار (S₁) أن القمر الصناعي يمر فوق الرصد مباشرة بينما المسارات (S₂)، (S₃)... الخ تمثل مسارات الأقمار فوق أفق الرصد ويمكن التعرف على بعض الاستنتاجات من هذا الشكل.

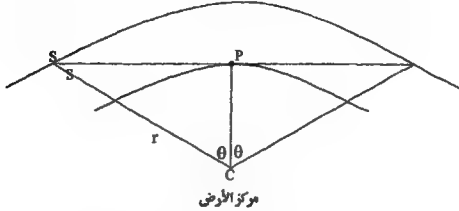


شكل (٣-٧): مسارات الأعمار على الإسقاط على دائرة الأفق

أولاً: فترة بقاء القمر في سماء الراصد

يمثل الخط (S_1) مسار القمر الذي يبدأ ظهوره للراصد عندما يرتفع فوق الأفق ويختفي بخروجه من دائرة الأفق وبالتالي فإن المسار (S_1) والذي يمثل قطر الدائرة هو أطول مسار فوق الأفق وبالتالي فإن فترة بقاء القمر للمسار (S_1) تكون أكبر ما يمكن وتقل للمسارات الأخرى لتكون صفر عندما يكون المسار مماساً لدائرة الأفق.

كما يوضح الشكل (٣-٨) قطاع رأسى لمسار القمر الذي يمر مباشرة فوق سمّ الراصد والذي يعبر عنه بالمسار (S_i) في الشكل (٣-٧) وهي أكبر فترة لوجود القمر فوق أفق الراصد.



شكل (٨-٣): مسار منحنى القمر فوق الراصد

ومن الشكل (٨-٣) يتضح أنه يمكن استنتاج قيمة الزاوية (θ) المقابلة لعبور القمر فوق الراصد عند أطول فترة عبور:

$$\cos \theta = \frac{r}{r+h}$$

حيث (r) هي نصف قطر الأرض، (h) هي ارتفاع القمر عن سطح الأرض. وبالتالي فإن فترة عبور القمر فوق أفق الراصد (θ) يمكن استنتاجها من العلاقة التالية:

$$t = \frac{2\theta}{360} \times T$$

حيث (T) هي فترة دوران القمر في مداره حول الأرض.

ثانياً: السرعة النسبية للقمر

السرعة النسبية للقمر بالنسبة للراصد تعتمد على كل من السرعة الخطية للقمر في مداره (S) وعلى حركة الراصد وعلى اتجاه الراصد من القمر وعلى سرعة دوران الأرض عند خط عرض الراصد والتي تتناسب مع جيب تمام خط العرض Cos.Latitude. وبالتالي فإن السرعة النسبية عندما يكون القمر على المسار (S) أكبر ما يمكن بينما السرعة التسمية للقمر في المسارات الأخرى تعادل:

$$V_r = V_{\max} \cos \alpha$$

حيث (V_r) السرعة النسبية، (V_{\max}) أقصى سرعة للقمر و(α) الزاوية بين مسار القمر واتجاه الراصد من القمر في الشكل (٣-٧).

ثالثاً: ارتفاع الزاوي للقمر الساعات

يختلف الارتفاع الزاوي بين القمر وبين أفق الراصد باختلاف مساره واختلاف موقعه في كل مسار، وعموماً فإن ارتفاع القمر الزاوي يكون صفراً عندما يكون القمر على دائرة الأفق على أي مسار. ففي حالة المسار الأول (S_1) فإن الارتفاع الزاوي يزداد تدريجياً حتى يصل إلى أقصى قيمة له عندما يكون القمر فوق سمت الراصد وبالتالي يصبح الارتفاع 90° درجة ثم يقل مرة أخرى حتى يغرب القمر تحت الأفق. أما في المسارات الأخرى فإن الارتفاع الزاوي للقمر يبدأ من الصفر على دائرة الأفق ويزداد حتى يصل إلى أقصى قيمة له عندما يكون عمودياً على اتجاه الراصد ولكن يكون الارتفاع الزاوي في هذه المنطقة أقل من 90° بينما في المسار رقم (S_3) على سبيل المثال فإن أقصى ارتفاع زاوي للقمر يبلغ حوالي 90° على سبيل المثال.

رابعاً: مسافة القمر من الراصد

عندما يكون القمر على دائرة الأفق فإن مسافة (المدى) القمر من الراصد تكون أكبر ما يمكن وتقل هذه المسافة كلما زاد الارتفاع الزاوي فوق الأفق وتقل هذه المسافة في المسار الأول (S_1) حتى تبلغ أقل قيمة لها عندما يكون القمر فوق سماء الراصد وتعاود في هذه الحالة ارتفاع القمر (h) فوق سطح الأرض وتبلغ $20,200$ كم تقريباً، أما المسارات الأخرى (S_2)، (S_3) فإن مسافة القمر تصل إلى أقل قيمة لها في المسار عندما يبلغ ارتفاعه الزاوي أقصى قيمة له، أي عندما يكون مكن الراصد عمودياً على مسار القمر. ولكن في جميع الحالات تكون مسافة القمر أكبر من الارتفاع (h) ويوضح الخط

العمودي على مسار الأقمار أقل مسافة (Line of CPA) وهو أيضا الخط الذي يكون القمر عنده أكبر ارتفاع زاوي للقمر وأقل مسافة للرصد على كل المسار.

٦.١.٢ ماثلة الاوتظام الزاوي المنخفض

فيما يخص الأقمار لمستخدم في الملاحة فإنه عندما يكون الارتفاع الزاوي للقمر فوق الأفق يقل عن 10° درجات، فإن إشاراته تتعرض لأخطاء الانكسار في الطبقة المؤينة وأيضا عندما تقترب من سطح الأرض، وعلى ذلك فإن الأقمار المحصورة بين دائرة الأفق ودائرة الارتفاع الزاوي 10° درجات - والموضحة بالدائرة الصغرى في الشكل (٣-٧) - تكون قليلة الفائدة في مجال تحديد المواقع في الملاحة وقد تستبعد من الرصد.

الفصل الرابع

الأقمار الصناعية الملاحية

NAVSTAR – GPS

Navigation System with

Time and Ranging

Global Positioning System

٤ - الملاحة بالأقمار الصناعية GPS .

٤-١-٢ تعريف

نظام الملاحة بالأقمار الصناعية GPS هو أحد منظومات الملاحة العالمية التي انضمت لإنشائه الولايات المتحدة الأمريكية بعد نظام الأقمار الصناعية لرائزيت. وقد تبلورت أفكار إنشاء نظام الملاحة بالأقمار الصناعية لقياس المدى والوقت منذ بداية السبعينات في القرن الماضي وبدأت في تنفيذه في بداية الثمانينيات واستخدم لتحديد الموقع جزئياً في بداية التسعينات واكتملت منظومته في عام ١٩٩٦ حيث أصبح النظام الدقيق الوحيد الذي يتميز بإمكانيات كبيرة في دقة وسرعة تحديد الموقع بصفة مستمرة ولفحت جميع الظروف الجوية.

ويخضع تشغيل النظام للإدارة العسكرية الأمريكية DOD والتي توفر له دقة أكبر في الاستخدام العسكري بينما تكون الدقة المتاحة للاستخدام المدني (Standard Positioning Servicing (SPS أقل بعض الشيء من الدقة المتاحة للاستخدام العسكري.

وقد استفادت العديد من الأعمال والأنشطة الحيوية من هذا النظام بالإضافة إلى أغراض الملاحة، فقد استخدم في أعمال المسح البحري والبري وفي أعمال التنقيب عن البترول وفي أعمال البحث والإنقاذ كما تم اختبار النظام في كل مراحله حتى أصبح كل من يستخدمه مقتنعاً تماماً بأنه أفضل النظم الملاحية الإلكترونية على الإطلاق وحتى هذا الوقت من تاريخ التطور في أنظمة الملاحة، فالنظام الحالي يوفر قدراً كبيراً من الدقة في تحديد الموقع في ثلاث أبعاد ويوفر ثقة عالية لمستخدميه وقدراً أكبر من الاعتمادية (Reliability) ويغطي جميع أنحاء العالم شمالاً وجنوباً وشرقاً وغرباً ومناطق الأقطاب الشمالية والجنوبية وهو ما يطلق عليه عند تقييم النظام (Availability) وحيث أن النظام يمكنه أن يعطي بيانات الموقع بصفة مستمرة، فإن عنصر التكرارية يكون قد تحقق (Repeatability) وبذلك فإن نظام الـ GPS قد حقق مطالب الملاحة وهذا من حسن حظ

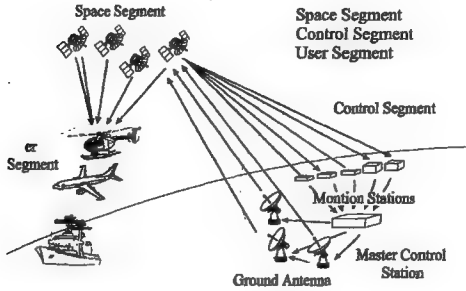
الملاحين سواء المحترفين منهم أو الهواة والرياضيين، كما أن المستخدمين لهذا النظام لا يتحملوا شيئاً حتى الآن من التكلفة الرأسمالية في إنشاء النظام، ولكنهم فقط يتحملوا تكلفة جهاز الاستقبال الذي تنافس في صناعته وتقديمه للملاحين العديد من الشركات المتخصصة والتي تحاول أن تجعله في متناول يد الجميع. وبعد أن اكتمل هذا النظام في نهاية مجموعة الأنظمة الملاحية في تحديد الموقع، فلا يجب أن تشغل قضية الملاحة وتحديد الموقع ضباط الملاحة بشكل رئيسي بل يمكننا أن نقول أن أنظمة الملاحة وعلى رأسها النظام الحديث قد وفر الكثير من الوقت والجهد للملاحين لتوظيفها في أغراض سلامة الأرواح وكفاءة الرحلة. ومما هو جدير بالذكر أن نظام GPS قد تكلف أكثر من ٢٥ مليار دولار وقد تأخر نشره عدة سنوات بسبب انفجار مكوك الفضاء تشالنجر إلا أن النظام قد اكتمل وتم نشر جميع الأقمار في مداراتها وأصبح النظام أو المنظومة تضم ٢٤ قمراً. ومن الممكن استخدام ٩ أقمار من هذه المجموعة في أي وقت وفي أي مكان على سطح الأرض لتحديد الموقع.

٣-٤ وصف النظام

يتكون نظام الأقمار الصناعية GPS من ثلاثة أقسام رئيسية: الأول منها هو مجموعة الأقمار الفضائية والتي تدور حول الأرض Satellite Constellation، والقسم الثاني هو محطات التحكم والمتابعة الأرضية التي تتحكم في تشغيل وإدارة النظام بالكامل، أما القسم الثالث فهو عبارة عن أجهزة الاستقبال التي تستخدم في الأغراض المختلفة لتحديد الموقع وتحليل بيانات الموقع المرصود.

ونظام GPS هو نظام ملاحى يصف معلومات دقيقة لتحديد الموقع في الأبعاد الثلاثية (3D) ويعمل تحت إدارة وإشراف وزارة الدفاع الأمريكية (DoD) وقد تم تصميمه أساساً للاستخدام العسكري ثم أتيح استخدامه للأغراض المدنية وفقاً لضوابط معينة توفر دقة أقل في تحديد الموقع مقارنة بالدقة التي يوفرها النظام للمستخدمين الرئيسيين أو العسكريين؛ وبوضوح الشكل (١-٤) الأقسام الرئيسية لنظام الأقمار الصناعية GPS.

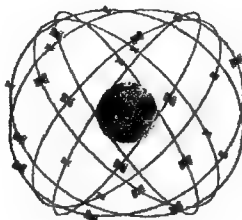
وتعتمد فكرة النظام على قياس المسافات بين القمر الصناعي والراصد على سطح الأرض وذلك بقياس الزمن الذي تستغرقه الإشارة الرادوية التي يبثها القمر حتى تصل إلى جهاز الاستقبال باستخدام سرعة انتشار الموجات اللاسلكية في الفراغ (Vacuum) والتي منها يمكن معرفة المسافة. وبلاحظ في هذا القياس أنه أحادي المسار أي أننا نقيس المسافة في اتجاه واحد فقط وهو من القمر الصناعي وحتى مكان الراصد، وحيث أن وقت الإرسال غير معلوم والساعة التي يستخدمها جهاز الاستقبال ليست بالدقة الكافية مثل الساعات الذرية التي تحملها الأقمار، فإن المسافة المقاسة تسمى شبه المسافة Pseudo Range أو المسافة الحسابية. ويمكن استخدام النظام في أي مكان على سطح الأرض وبشكل مستمر ومستقل عن الظروف الجوية والمناخية.



شكل (٤-١): الأقسام الرئيسية لنظام الملاحة بالقمر الصناعية GPS

وتتكون مجموعة الأقمار من ٢٤ قمر موزعة حول الأرض على ست مدارات شبه كروية تدور حول الأرض ويحتوي كل مدار على أربع أقمار تفصل بينها مسافات متساوية ويبلغ ارتفاع المدار حوالي ٢٠٢٠٠ كيلومتر من سطح الأرض. وتميل هذه المدارات على مستوى خط الاستواء بمقدار ٥٥° وتبلغ فترة دورانها في مداراتها حوالي ١٢ ساعة، وبوفر هذا الارتفاع الكبير لمدار الأقمار دائرة إسقاط كبيرة يبلغ نصف قطرها حوالي ٨٠٠٠ كيلومتر كما أن فترة الدوران التي تبلغ ١٢ ساعة تتيح فترة طويلة لبقاء الأقمار فوق أفق الراصد وتبلغ في أقصى قيمة لها حوالي ٤ ساعات عندما يمر القمر فوق سمت الراصد مباشرة. ويؤمن التوزيع الهندسي للأقمار تغطية شاملة للكرة الأرضية يوجد حوالي ٩ أقمار في سماء الراصد في أي مكان على سطح الأرض يستخدم منها الراصد ٤ أقمار يمكن رصدها آنياً Simultaneously لتحديد الموقع. ويوضح الشكل (٤-٢) مجموعة الأقمار الصناعية GPS في مداراتها الستة والموزعة هندسياً حول الأرض.

ويعتمد مبدأ الملاحة الأساسي في نظام GPS على قياسات آنية لأشياء المسافات Pseudoranges بين المستخدم وبين أربعة أقمار، حيث يمكن تعيين إحداثيات الراصد انطلاقاً من إحداثيات القمر الصناعي المعروفة في إطار مرجعي مناسب، ومن وجهة نظر هندسية بحتة يكفي قياس المسافات إلى ثلاثة أقمار فقط، ولكن قياساً راجعاً يبقى ضروري لأن نظام GPS يستخدم طريقة (One-Way Ranging Technique) أي قياس المسافة باتجاه واحد، وحيث أن ساعة أجهزة الاستقبال ليست متزامنة مع ساعات القمر فإن خطأ تزامن تلك الساعتين هو سبب تسمية (أشياء المسافات) ويجب تعيينه كمجهول إضافي ضمن معادلات قياس المسافات. ولقد تم تصميم نظام GPS للحصول لحظياً وفورياً Real Time، على دقة ملاحة تتراوح بين $10 \pm$ إلى $15 \pm$ ومن الممكن أن يؤمن هذا النظام قياسات جيوديسية بدقة عالية جداً باستخدام أجهزة استقبال خاصة تعتمد على قياسات اختلاف الطور في تحديد المسافة بين الراصد والأقمار الصناعية.



GPS Nominal Constellation
24 Satellites in 6 Orbital Planes
4 Satellites in each Plane
20,200 km Altitudes, 55 Degree Inclination

شكل (٤-٢) منظومة أقمار الملاحة GPS

Space Segment

٢-٣-٤ القسم النظامي

تعتبر مجموعة الأقمار الفضائية أهم أقسام النظام، وقد تم إنتاج خمسة مجموعات مختلفة من مجموعات الأقمار الصناعية تختلف في خصائصها وفي الإمكانيات المتاحة لكل منها.

أولاً: مجموعة الأقمار الصناعية Block I

تتكون هذه المجموعة من ١١ قمراً في المجموعة ويزن كل منها حوالي ٨٤٥ كيلوجرام وقد أطلقت أقمار هذه المجموعة خلال الفترة من ١٩٧٨ إلى ١٩٨٥ من القاعدة الفضائية من فاندنبرج بكاليفورنيا، ومتوسط فترة التشغيل التصميمية لهذه الأقمار يبلغ ٤,٥ سنة، وقد خرج آخر أقمار هذه المجموعة من الاستخدام في ٢٧ فبراير ١٩٩٤ وكانت المجموعة تعاني من مشاكل في ضعف الطاقة والتي تسببت بالتالي في خروج الأقمار عن مداراتها. ويوضح الجدول رقم (٤-١) تواريخ إطلاق أقمار المجموعة الأولى Block I وأسباب خروجها من الخدمة.

جدول (٤-١)

تواريخ إطلاق أقمار المجموعة Block I وأسباب خروجها من الخدمة

Block I Satellites						
Flight	PRN No.	Launch Date	Available since	Loss of Navigation	Reason of Loss	Operational (months)
1	04	22.2.78	29.3.78	25.1.80	Clock	21.9
2	07	13.5.78	14.7.78	30.8.80	Clock	25.5
3	06	6.10.78	9.11.78	19.4.92	Clock	161.3
4	08	11.12.78	8.1.79	27.10.86	Clock	93.6
5	05	9.2.80	27.2.80	28.11.83	Wheels	45.0
6	09	26.4.80	16.5.80	10.12.90	Wheels	126.8
7	-	18.12.81	-	-	Booster	-
8	11	14.7.83	10.8.83	4.5.93	Power	116.8
9	13	13.6.84	19.7.84	25.2.94	Power	115.2
10	12	8.9.84	3.10.84	-	-	-
11	03	9.10.85	30.10.85	27.2.94	Signal	99.9

ثانياً: مجموعة الأقمار الصناعية Block II, Block IIA

صممت هذه المجموعة كأول منظومة للأقمار الصناعية تعمل كوحدة متكاملة وتتألف من ٢٤ قمر صناعي، أول قمر من هذه المجموعة بلغت تكلفته التقريبية ٥٠ مليون دولار وبلغ وزنه ١٥٠٠ كجم وأطلق من مركز كينيدي للعلوم الفضاء من كيب كانافيرال، فلوريدا في ١٤ فبراير ١٩٨٩ وذلك باستخدام صاروخ McDonnell Douglas Delta2 وآخر قمر أطلق في ٣ مارس ١٩٩٤.

وتحتوي المجموعة الثانية (Block IIA) (الرمز A يعني الفئة المتطورة Advanced) على أجهزة اتصالات وأجهزة قياس بالفيبر، وأول قمر من هذه الفئة أطلق في ٢٦ نوفمبر ١٩٩٠. ويوضح الجدول (٤-٢) أرقام وتواريخ إطلاق هذه المجموعة من الأقمار (Block IIA المجموعة الثانية).

جدول (٤-٢)

تواريخ إطلاق الأقمار المجموعة Block IIA

Block IIA Satellites				
Flight No.	PRN No.	Launch Date	Available since	Operational (months)
21	23	26.11.90	10.12.90	E4
22	24	3.7.91	30.8.91	D1
23	25	23.2.92	24.3.92	A2
24	28	9.4.92	25.4.92	C2
25	26	7.7.92	23.7.92	F2
26	27	9.9.92	30.9.92	A3
27	32	22.11.92	11.12.92	F1
28	29	18.12.92	5.1.93	F4
29	22	2.2.93	4.4.93	B1
30	31	30.3.93	13.4.93	C3
31	07	13.5.93	12.6.93	C4
32	09	26.6.93	21.7.93	A1
33	05	30.8.93	28.9.93	B4
34	04	26.10.93	29.11.93	D4
35	06	3.3.94	28.3.94	C1

وتبلغ الحياة التصميمية لأقمار هذه المجموعة حوالي سبع سنوات، وتستمد طاقتها الكهربائية بواسطة أجنحة استقبال الطاقة الشمسية والتي تبلغ مساحة سطح كل منهما ٧,٥ متر مربع بالإضافة إلى وجود بطاريات إضافية لتأمين الطاقة أثناء تواجد القمر الصناعي في منطقة ظل الأرض. ولكل قمر نظام دفع ذاتي لحفظ مكانه في المدار حيث يتغير المدار كل عدة أسابيع نتيجة للمؤثرات الخارجية مثل اختلاف الجاذبية الأرضية ومقاومة الهواء وضغط المجموعة الشمسية. ويحمل كل قمر مولدات موجات (ساعات ذرية دقيقة) Frequency Standards واحدة من نوع الروبيديوم Rubidium واثنين من السيزيوم Cesium.

ثالثاً، مجموعة الأقمار الصناعية Block IIR

بدأ تطوير أقمار الفئة IIR عام ١٩٩٦، وهي أقمار مزودة بإمكانية قياس المسافات بينها وبين أقمار أخرى لحساب إحداثيات كل أقمار المجموعة مباشرة، ومن ثم إرسالها إلى محطات المراقبة الأرضية والتي تقوم بدورها بتصحيح مسار القمر في حالة انحرافه عن مساره. وتزن أقمار هذه المجموعة حوالي ٢٠٠٠ كجم وبتكلفة تفوق ما كلفته المجموعة الثانية Block II بمرة ونصف.

رابعاً، مجموعة الأقمار الصناعية Block IIF

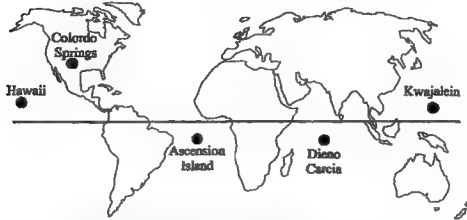
من المخطط أن يتم إطلاق أقمار المجموعة Block IIF في الفترة ما بين عامي ٢٠٠١ و ٢٠١٠، ويقصد بالرمز (F) المجموعة اللاحقة والتي سوف تحمل إمكانيات متطورة.

٢-٢-٤ قسم التحكم Control Segment

يتألف قسم التحكم النحال حالياً Operational Control Segment (OCS) لنظام GPS من (Master Control Station-MCS) أي محطة التحكم الرئيسية في كولورادو سبرنج Colorado Springs USA، وخمس محطات مراقبة Monitor Station MS وهوائيات أرضية في كل من كولورادو سبرنج، جزيرة هاواي Hawaii، جزيرة أسينشن Ascension، كواجالين Kwajalein ودييجو جارجيا Diego Garcia؛ ويوضح الشكل (٢-٤) أماكن تواجد تلك المحطات حول العالم. وتتلخص عمليات محطات التحكم في مراقبة وتتبع حركة القمر في مداراتها وتجهيد المعلومات الملاحية وتعيين الوقت.

وتستقبل محطات المراقبة إشارات الأقمار وتحسب منها أشباه المسافات لكل الأقمار المرصودة وترسل محطات أشباه المسافات كل ١,٥ ثانية وكذلك يتم إرسال معطيات عن قياسات الأحوال الجوية Meteorological Data المحلية كل ١٥ دقيقة إلى محطة التحكم الرئيسية MCS وتستخدم تلك المعطيات لإعادة حساب المواقع اللاحقة للأقمار Satellite Ephemeris

Navigation Messages وسلوك ساعاتها ودقة المعلومات الملاحية وترسل المعطيات الناقصة إلى الهوائيات الأرضية ليتم إرسالها إلى الأقمار عندما تمر فوق إحدى محطات المتابعة وذلك بواسطة ترددات على النافذة (S) المخصصة للاتصالات بين القمر وبين محطات المتابعة الأرضية والتي يبلغ مقدارها ١٧٨٣,٧٣ ميجا هرتز.



- ◆ All Five Stations are Monitor Stations
- ◆ Ascension, Diego Garcia and Kwajalein are Upload Stations
- ◆ Colorado Springs is Master Control Station

شكل (٤-٣): محطات المتابعة والتحكم الأرضية لنظام GPS

ونظرا لتوزيع محطات المتابعة الأرضية، فهناك على الأقل ثلاث اتصالات يوميا بين قسم التحكم وبين كل قمر من الأقمار ويحقق التوزيع الجغرافي لمحطات المراقبة متطلبات نظام ملاحي فعال.

٤-٣-٢ قسم المستخدم User Segment

يقتصد بالمستخدم أجهزة الاستقبال المستخدمة في التقاط إشارات أقمار GPS، وهناك أنواع عديدة من أجهزة الاستقبال تصنف حسب المستخدمين وحسب نوع القياس.

ونظام GPS هو الأساس نظام ملاحي عسكري تديره وزارة الدفاع الأمريكية (U.S. Department of Defense (DOD، وبناءا عليه فهو

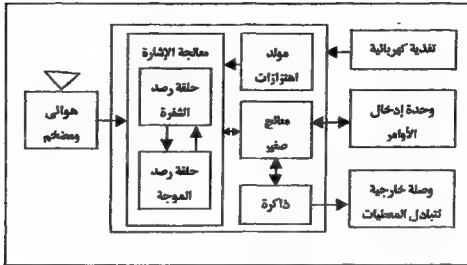
يحقق أغراضاً أمنية أمريكية. لذلك فقد أعلن منذ البداية بأن المستخدمين المدنيين للنظام سوف يتمتعون فقط بدقة محدودة للنظام (C/A)؛ والخدمة المهيأة للمستخدمين المدنيين تدعى خدمة الموقع المعيارية Standard Positioning Service (SPS)، بينما الخدمة المهيأة للمستخدمين أصحاب الترخيص (غالباً العسكريين) تدعى خدمة الموقع الدقيقة Precise Positioning Service (PPS) وتبلغ دقة الموقع المعيارى ثنائية الأبعاد حوالى ١٠٠ متر فى ظل وجود الخطأ المعتمد (SA) والذي تم رفعه عام ٢٠٠٠، وفى حالة عدم وجوده حالياً تبلغ الدقة (٢٠-٢٥) متر، أما فيما يخص الخدمة الدقيقة PPS فتصل إلى حدود (٥-١٥) متر للموقع ثلاثى الأبعاد.

وتصنف أجهزة الاستقبال على أساس نوع القياس الممكن الحصول عليه إلى:

- أجهزة استقبال للشفرة C/A-code Carrier Receiver C/A-code
- أجهزة استقبال للشفرة C/A-code + طور الموجة الأولى L1
- أجهزة استقبال للشفرة C/A-code + طور الموجة الأولى L1 + طور الموجة الثانية L2 (P-Y code).

٤-٣-٤ مكونات أجهزة الاستقبال Receiver Design

- يتكون جهاز الاستقبال من ستة أجزاء رئيسية وهي:
- هوائى مع مضخم إشارة Antenna and Amplifier
 - وحدة التردد الراديو Radio Frequency مع التعرف على الإشارة ومعالجتها Microprocessor
 - مولد ترددات دقيق Oscillator
 - وحدة تأمين طاقة كهربائية Power Supply
 - وحدة تدخل المستخدم (إعطاء أوامر وشاشة)
 - وحدة ذاكرة وتخزين القياسات Storage Device.
- وبوضح الشكل (٤-٤) تصميم ومكونات جهاز الاستقبال.



شكل (٤-٤): مكونات جهاز الاستقبال

يقوم الهوائي باستقبال الإشارة الصادرة من القمر الصناعي ويحول طاقة الإشارة إلى تيار كهربائي ويضخم الإشارة ويرسلها إلى القسم الإلكتروني لجهاز الاستقبال حيث يقوم المعالج الدقيق Microprocessor باستقبال الإشارة ومعالجتها وفك شفرة المعلومات المبثولة بالإضافة إلى الحساب الفوري للمواقع والسرعة وتعيين معلومات لنقاط الطريق Waypoint (فى الملاحة). يقوم مولد الترددات Oscillator بتوليد التردد المرجعى فى جهاز الاستقبال ويكفى بشكل عام وجود مولد ترددات عادى (من الكوارتز) لأن معلومات الوقت الدقيقة يتم الحصول عليها من القمر مباشرة.

ومن أجل المعالجة اللاحقة للمعطيات يجب أن تخزن القياسات والمعطيات فى ذاكرة داخلية أو خارجية، كما أن المعالجة اللاحقة للمعطيات ضرورية فى حالات القياسات على عدة محطات فى عدة قياسات آنية وهذا يتم فى التنبليقات الجيوديسية والمساحية، حيث يتم تسجيل كل من أشباه المسافات وحالة الطور والمعلومات الملاحة والزمنية.

أما بخصوص التغذية الكهربائية لأجهزة الاستقبال فإنها تحتاج إلى تيار مستمر يتراوح بين ١٠-٤٠ فولت ويتم تصميمها بحيث يكون استهلاكها الكهربائى طفيف قدر الإمكان. وتحتوى أغلب الأجهزة الحديثة على

بطاريات داخلية قابلة للشحن بالإضافة إلى إمكانية التغذية الكهربائية الخارجية.

٣-٤ الحد من دقة النظام Limitation of the System Accuracy

هناك طريقتان للحد من دقة أرساد GPS اعتمدتها وزارة الدفاع الأمريكية، وكان الغرض منها حصر الاستخدام الدقيق لقياسات GPS لفئة معينة وهم العسكريين ومن لهم تصريح بالاستخدام الدقيق لقياسات Authorized Users of GPS، وهما طريقة ضد التشويش Anti Spoofing (AS) وطريقة الإتاحة الاختيارية Selective Availability (SA). وكلا الطريقتين تحتاجان أخطاء متعمدة في البيانات التي ترسلها الأقمار الصناعية.

والطريقة الأولى (AS) تتضمن تشويش مقصود للشفرة الدقيقة P-code حيث تسمى عندها الشفرة المحمية Y-code ويزود المستخدمون أصحاب الترخيص فقط بوسيلة للدخول إلى الشفرة الدقيقة.

أما الطريقة الثانية (SA) فهي طريقة الأخطاء المتعمدة من قبل وزارة الدفاع الأمريكية لتخفيض دقة تحديد الموقع بواسطة الإشارة المدنية C/A حيث تصل الدقة في المسافة الأفقية إلى حوالي ١٠٠ متر و١٥٠ متر في المسافة الرأسية والتي تم وضع قيمتها عند الصفر في مايو ٢٠٠٠ إلا أن إمكانية تشغيلها مازالت قائمة إذا رأت الولايات المتحدة ضرورة في ذلك.

ويرجع السبب في حذف الأخطاء المتعمدة إلى التوجه الأوروبي في تنفيذ مشروعهم الملاحي الكبير جاليليو والتي رأت الولايات المتحدة أنه من الضروري تحسين أداء نظام GPS بإلغاء الإتاحة الاختيارية (SA) وإضافة تردد إضافي مستقبلا حتى تظل محتفظة بفعاليتها من المستخدمين لنظام GPS في مواجهة المنافسة الأوروبية المحتملة.

Satellite Orbits

٤-٤ مميزات الأقمار

لتحديد الإحداثيات الملاحية يحتاج المستخدم إلى معرفة مباشرة لمواقع الأقمار الصناعية وكذلك معلومات عن الزمن ويتم ذلك بواسطة معلومات المدار أو الرسالة الملاحية Navigation Message، وتحسب هذه المعلومات الملاحية في قسم التحكم (Control Segment) وتبث إلى المستخدمين عن طريق الأقمار الصناعية.

ويتم الحصول على التقويمات المرسلة على مرحلتين، في المرحلة الأولى يتم فيها حساب التقويمات المرجعية Ephemeris وذلك اعتماداً على قياسات مدتها سبعة أيام من محطات المراقبة الخمسة باستخدام برامج خاصة لحساب المدارات، وفي المرحلة الثانية يتم حساب الفروقات بين القياسات الزاهنة في محطات المراقبة وبين التقويمات المرجعية، وتعالج هذه المعلومات للحصول على تصحيحات للتقويمات المرجعية لكل الأقمار وفي كل محطات المراقبة، والسبب في وجود تصحيحات لهذه القياسات يعود لوجود أخطاء ناتجة عن تأخير انتشار الموجات خلال طبقة الأيونوسفير Ionosphere وطبقة التروبوسفير Troposphere وكذلك التأثيرات النسبية Relativistic Effects الخاصة بساعة القمر.

٤-٥ حساب زمن القمر الصناعي وإحداثياته

يتم تمييز زمن GPS برقم الأسبوع ورقم الثواني الجارية منذ بداية الأسبوع، ولذلك يتراوح الزمن بين صفر في بداية الأسبوع و٦٠٤٨٠٠٠ عند نهاية الأسبوع، كما أن الزمن الصفرى للنظام هو نقطة بداية اعتماده، وهو ٥ أغسطس من عام ١٩٨٠ في تمام الساعة صفر منتصف الليل في مقياس الزمن الدولي، وزمن GPS هو مقياس زمني مستمر تتم معايرته مع الساعة في محطة التحكم الرئيسية MCS، ويجرى تعديل مقياس الزمن الدولي كل سنة بإضافة ثانية واحدة له؛ ومن ناحية أخرى فإن ساعة محطة التحكم الرئيسية MCS لها انحرافات دقة خاصة بها ولذلك فهذه المقياسين (زمن ساعة محطة التحكم وزمن ساعة القمر) غير متطابقين. ويتم مراقبة الفرق بين

المقياسين الزمنيين باستمرار بواسطة قسم التحكم ويتم إرساله للمستخدمين عن طريق المعلومات الملاحية.

٤-٦ تحديد الموقع Position Fixing

لقد ألبت نظام الأقمار الصناعية GPS نجاحه في توفير دقة عالية جداً في تحديد المواقع تحت مختلف الظروف وبصفة مستمرة سواء كان ذلك باستخدام قناة واحدة (L1) أو استخدام كلا القناتين على الكود العادي (C/A) والكود الدقيق (P).

ولتحديد الموقع فإنه كغيره من الأنظمة الملاحية وفقاً لأسس الملاحة وتحديد الموقع يجب أن تحصل على أكثر من خط موقع أو مستوى لرصد الأقمار الصناعية؛ وحيث أن تحديد الموقع في هذا النظام يعتمد على القياس الآتي (Simultaneous) الذي يرصد فيه الأقمار في نفس الوقت، فإنه للحصول على إحداثيات الموقع أي خط الطول وخط العرض فإنه يلزم رصد ثلاث أقمار في آن واحد على الأقل، وإذا رصدت أربعة أقمار فإن ذلك سوف يمكننا من تحديد الارتفاع. ويجب أن تتوافر في الأقمار التي يتم رصدها الشروط الملاحية المناسبة كأن يكون القمر المرصود على ارتفاع زاوي فوق الأفق يزيد عن ٧ درجات وأن تكون الإشارة قوية حتى يمكن للجهاز متابعها وأن تكون مجموعة الأقمار المستخدمة توفر قدراً كبيراً من اعتمادية المواقع Position Dilution of Precision (PDOP).

ويجب أن تتوافر في جميع الحالات إمكانية قياس الزمن أو التزامن بين إرسال إشارات القمر واستقبال هذه الإشارات بجهاز الاستقبال. وإذا أمكن تحديد الموقع والزمن فإنه أيضاً يمكن حساب السرعة الفعالة للسفينة أو الطائرة أو المركبة المتحركة بدقة عالية بمعرفة المسافة بين موقعين متتاليين والزمن بينهما يمكن الحصول على السرعة وبذلك تكتمل العناصر المطلوبة لإجراء العمليات الملاحية وهي الموقع والزمن والسرعة والتي منها يمكن حساب خطوط السير والاتجاهات ومسافات نقاط المحاور Way Points ويمكن برمجة أعمال الملاحة لفترات طويلة ومراحل متعددة.

وفيما يتعلق بوحدة الإرسال والتخزين والاستقبال وطبيعة المعلومات التي يبثها القمر الصناعي، فإنه يتم متابعتها دورياً في كل مرة يمر بها القمر الصناعي فوق محطات المتابعة الأرضية والمحطة الرئيسية في الولايات المتحدة وهو ما يضمن استمرارية الإرسال من القمر الصناعي للبيانات والمعلومات اللازمة لأعمال الملاحة وهي إحداثيات القمر في مداره (x, y, z) . أما أجهزة الاستقبال فإن دقتها وكفاءتها وسرعة إنجازها للأعمال الحسابية اللازمة لتحديد الموقع وقدرتها على حساب الزمن بين الإرسال والاستقبال ودرجة الاستقرار في المذبذبات المحلية بها فإنها تتوقف بالطبع على الغرض من الاستخدام وعلى نوع الجهاز المستخدم والكود المستعمل والشركة المنتجة لجهاز الاستقبال.

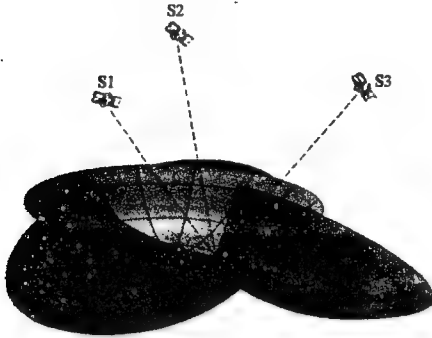
ولكن بوجه عام فقد أثبتت التجارب والاستخدامات العديدة في السنوات القليلة الماضية أن النظام الملاحي GPS والذي يشمل على جميع العناصر من أقمار صناعية ومحطات رصد ومتابعة أرضية وأجهزة استقبال وهوائيات ونظريات وتكنولوجيا مستخدمة في القياس، أثبت هذا النظام قدرة فائقة على تحديد الموقع وإقناع الملاحين في الاعتماد عليه في العمليات الملاحية وتحديد الموقع لجميع الأغراض العسكرية والمدنية وأغراض المسح البحري والمدني وفي أعمال التنقيب عن البترول وفي جميع الأعمال التي تتطلب دقة عالية في تحديد إحداثيات الموقع والتي قد تصل إلى عدة سنتيمترات.

٤-٧ المساقطة المطابقة (المدى الظاهري) Pseudorange

يتم تعيين الموقع الجغرافي المطلق على سطح الأرض بقياس المسافة الحسابية المباشرة بين موقع القمر الملاحي وموقع الراصد على سطح الأرض، ويتم تحديد الموقع بالتقاطع الجيومترى لمستويات الموقع Position Planes التي تحصل عليها من ثلاثة أو أربعة أقمار ملاحية في آن واحد. ويتم قياس المدى الظاهري بحساب الفترة الزمنية التي تقطعها الإشارة بين القمر وجهاز الاستقبال، وبمعرفة سرعة انتشار الموجات اللاسلكية يمكن حساب المدى الظاهري (الغير حقيقي).

فإذا كان الراصد يقف عند نقطة تقع على بعد ٢٠٠٠٠ كيلومتر من القمر الأول، فهو على هذه الحالة يوجد على نقطة على سطح قطع كروي أي على جزء من قشرة كرة وهمية أو فراغية مركزها القمر الصناعي الأول ونصف قطرها طوله ٢٠٠٠٠ كيلومتر، وإذا قام الراصد بتعيين نقطتين أخريين على قطعين كرويين كلاهما على سطح كرة وهمية مركز أحدهما القمر الصناعي الثاني ومركز الأخرى القمر الصناعي الثالث، فبذلك يكون الراصد قد حصل على ثلاث كرات وهمية مراكزها هي مواقع الأقمار الصناعية الثلاثة في مداراتها، ويمكن في هذه الحالة تحديد الموقع بنقطة تقاطع سطوح تلك الكرات الثلاثة وتكون نقطة التقاطع هي موقعه على سطح الأرض أو منسوبها لمركز الكرة، أي أن رصد قمر واحد يعطي كرة ثلاثية الأبعاد ورصد قمرين يعطي دائرة موقع مسطحة ثنائية الأبعاد ورصد ثلاث أقمار يعطي نقطتين للتقاطع أحدهما هي موقع الراصد.

وبوضوح الشكل (٤-٥) مقاطع المواقع الكروية لثلاثة أقمار على الأقل يلزم لواجدهم فوق سماء الراصد ولا يقل ارتفاعهم الزاوي عن ٧ درجات حتى نتجنب تأثير الانكسار عند مرور الموجات اللاسلكية في الطبقات المؤينة، كما يلاحظ أن رصد قمرين فقط لا يحدد الموقع حيث نحصل على مستوى دائري من تقاطع المقاطع الكروية للقمرين على خلاف ما هو مطلوب في أعمال المساحة الساحلية حيث يكفي خطان للموقع لتحديد موقع الراصد على خريطة ورقية في مستوى واحد له إحداثيين (x , y)، فإن مقاطع الموقع الناشئة عن رصد الأقمار الصناعية وقياس بعدها ($Range$) تعطي موقعاً فراغياً في ثلاث محاور (x , y , z) ولذلك فإنه يلزم على الأقل رصد ثلاث أقمار حتى يمكن استنتاج نقطة واحدة لتقاطع هذه المقاطع والتي تحدد موقع الراصد.



شكل (٤-٥): ثلاثة قطاعات للموقع

ولتحديد الموقع فإن جهاز الاستقبال يقوم بعدة قياسات لأربعة أقمار في آن واحد. فعندما تقوم الأقمار بإرسال شفرة خاصة بصورة منتظمة فإن جهاز الاستقبال يقوم بتوليد صورة مطابقة من هذه الشفرة. وعلى الرغم من أن الشفرتين متطابقتان في الطول إلا أنهما مختلفتان في الوجه أو الطور، وهذا الاختلاف الزاوي الطوري يعمل على قياس زمن الانتشار الذي تستغرقه الإشارة في رحلتها من القمر حتى يصل إلى مكان الراصد. ويعبر عن اختلاف الطور باختلاف الوقت أو تأخير الوقت (Δt) بين وقت الإرسال ووقت الاستقبال وتكون محصلة زمن الانتشار (Δt) وسرعة الانتشار (c) هي المسافة الحسابية أو الظاهرية (Pseudorange) بين موقع القمر في مداره والراصد على سطح الأرض، وهي مسافة غير دقيقة بالطبع لأن الساعات التي تستخدم في قياس الزمن بجهاز الاستقبال لدى الراصد ليست دقيقة بنفس القدر من الدقة التي تعمل بها الساعات الذرية الموجودة بالقمر الصناعي

ولذلك نتوقع وجود خطأ في مقدار المسافة الحسابية المقاسة ويرمز لقيمة الخطأ في ساعات جهاز الاستقبال بالرمز (Δt) . غير أن ذلك ليس كل الخطأ الذي يؤثر على حساب المسافة بين القمر وبين الراصد ولكن هناك خطأ آخر ناتج عن انكسار الموجات اللاسلكية أثناء مرورها في طبقات الجو المؤينة (Δt_i) .

٤-٧-١ قياس المسافة الحسابية (شبه المسافة) Pseudorange Measurement

تقاس المسافات بين مكانين بمعرفة السرعة والزمن، ولمعرفة المسافة بين الأقمار الصناعية وبين الراصد فإنه يتعين معرفة الفترة الزمنية التي تقطع فيها الإشارة المسافة من موقع القمر في مداره إلى موقع الراصد على سطح الأرض. وحيث أن قياس الزمن يتم من طرف واحد فقط وهو موقع الراصد، فإن معرفة الزمن التقريبي يتم تحديده عن طريق مقارنة إشارة كودية صادرة من القمر مع إشارة كودية مماثلة يتم توليدها داخل جهاز الاستقبال. ولأن الإشارة تتعرض للإتسارات أثناء مرورها بالطبقات المؤينة، فإن الفترة التي يمكن قياسها تكون في جميع الأحوال أكبر من للفترة المباشرة للخط المستقيم أو المسافة المباشرة بين الراصد والقمر وبذلك فإنه ينتج عن انتشار الإشارة في الغلاف الجوي تأخير للوقت تتبعه زيادة في المسافة الحسابية تعادل هذه الزيادة في الوقت، أي أن المسافة المقاسة بين الراصد وبين القمر (شبه المسافة) لن تكون دقيقة بأي حال للأسباب التالية:

- أ- تعرض الإشارات للإتسار أثناء مرورها في الطبقة المؤينة، ويزداد الخطأ الناشئ عن الاتسار عندما يتم رصد القمر على ارتفاع زاوي منخفض أي بالقرب من الأفق.
- ب- الاختلاف في سرعة انتشار الموجات اللاسلكية أثناء مرور الإشارة في طبقة التروبوسفير الملاصقة لسطح الأرض، ويزداد الخطأ الناشئ عن هذه الطبقة أيضاً عندما يكون الارتفاع الزاوي للقمر منخفضاً.
- ج- عدم دقة ساعات القياس بأجهزة الاستقبال والتي تختلف من جهاز لآخر وتصنع من مركبات مختلفة وهي بالطبع أقل كثيراً في الدقة من أجهزة قياس الوقت التي تحملها الأقمار الصناعية.

د- وجود خطأ ساعات الأقمار، وعلى الرغم من أن قيمة هذا الخطأ أو الانحراف يكون صغيراً جداً، إلا أنه يؤثر سلباً على دقة المسافة المقاسة. ويوضح الشكل (٤-٦) مقارنة بين المسافة الحقيقية والمسافة الظاهرية بين الراصد والقمر.

ويمكن التعبير عن المسافة الحسابية (PR) بالمعادلة التالية:

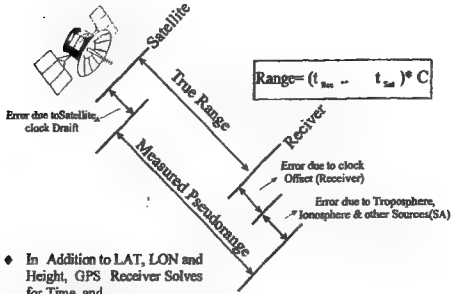
$$PR = R + C (\Delta t_i) + C (\Delta t_t) + C (\Delta t_s - \Delta t_a)$$

حيث: PR	=	المسافة الحسابية أو شبه المسافة
R	=	المسافة الحقيقية (الخط المستقيم بين القمر والراصد)
C	=	سرعة الانتشار في الفراغ
Δt_i	=	تأخير الإشارة في طبقة الأيونوسفير
Δt_t	=	تأخير الإشارة في طبقة التروبوسفير
Δt_s	=	خطأ الساعات الذرية بالقمر الصناعية
Δt_a	=	خطأ ساعات القياس بأجهزة الاستقبال.

كما يمكن اعتبار مجموعة الأخطاء في الوقت والتي ينتج عنها زيادة في المسافة بالقيمة (b) والتي تغير من أخطاء الوقت وبالتالي فإن معادلة المسافة الحسابية تصبح كالآتي:

$$PR = R + b$$

حيث (b) هي الخطأ في المسافة والنتيجة عن مجموعة أخطاء تأخير الوقت.



- ◆ In Addition to LAT, LON and Height, GPS Receiver Solves for Time, and
- ◆ Adjusts for Clock Offset and Drift, Tropospheric and Ionospheric Refraction (SA: Military GPS Only)

شكل (٦-٤):

٦-٧-٤ قياس المسافة الحقيقية (R)

يوضح الشكل (٦-٤) (a) الإحداثيات للنقطة (P_1) وإحداثياتها هي (x_1, y_1) وبعدها عن المركز يعبر عنه بالقيمة (r_1) حيث:

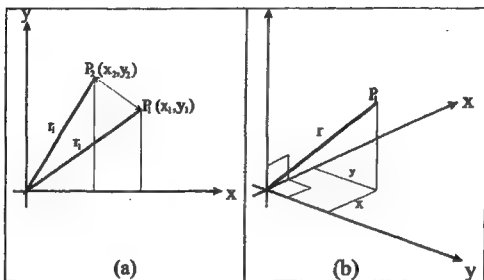
$$r_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2}$$

وأيضاً فإن النقطة (P_2) إحداثياتها هي (x_2, y_2) وبعدها عن المركز يعبر عنه بالقيمة (r_2) حيث:

$$r_2 = \sqrt{x_2^2 + y_2^2}$$

أما المسافة المباشرة بين النقطتين (P_1) و (P_2) فإنها لتحديد بالفرق بين إحداثيات كل من النقطتين، أي أن:

$$r_2 - r_1 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$



شكل (٧-٤):

وبالمثل في الشكل (٧-٤) (b) الذي يمثل الإحداثيات لنقطة منسوبة إلى الأبعاد الثلاثية (الفرغية) x, y, z فإن بعد النقطة (P_1) عن المركز يكون:

$$P_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2}$$

وإذا كان هناك نقطتان (P_1) و (P_2) فإن المسافة بينهما تكون محصلة الفرق بين إحداثيات كل من النقطتين:

$$(P_1 - P_2) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

ومن الإيضاح السابق يمكننا أن ننقل إلى إحداثيات الموقع على سطح الأرض حيث يكون مركز الكرة هو مركز الإحداثيات الثلاثية الأبعاد والتي يتم إسقاطها على مستوى دائرة خط الاستواء (x, y) والمحور الرأسى التى تدور حوله الكرة الأرضية بإحداثى (z) وبالتالي فإن أي نقطة للراصد على سطح الكرة الأرضية (P_a) يمكن تمثيلها بالإحداثيات (x_a, y_a, z_a) ويكون بعدها عن المركز مساوياً:

$$P_a = \sqrt{x_a^2 + y_a^2 + z_a^2}$$

وإذا كانت هناك نقطة فراغية أخرى وهي موقع القمر الصناعي (9)، فإن إحداثياتها منسوبة إلى مركز الكرة الأرضية تصبح (x_9, y_9, z_9) .

ويوضح الشكل (٨-٤) إحداثيات كل من موقع الراصد $P_a(x_a, y_a, z_a)$ وموقع القمر الصناعي $S(x_s, y_s, z_s)$ ، ويكون بعد الراصد عن المركز (P_0) هو:

$$P_a = \sqrt{x_a^2 + y_a^2 + z_a^2}$$

أما بعد القمر عن المركز:

$$P_s = \sqrt{x_s^2 + y_s^2 + z_s^2}$$

أما المسافة بين كل من الراصد والقمر الصناعي فهي تعادل الفرق بين إحداثيات القمر الصناعي وإحداثيات الراصد أي أن:

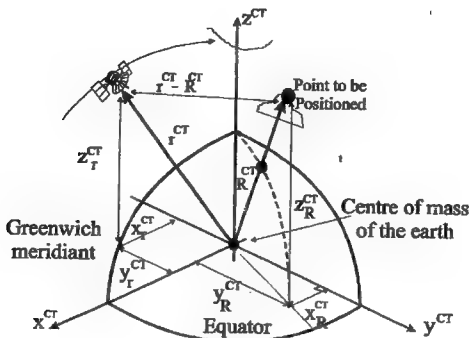
$$R = \sqrt{(x_s - x_a)^2 + (y_s - y_a)^2 + (z_s - z_a)^2}$$

وبالتعويض عن المسافة الحقيقية (R) في معادلة المسافة الحسابية نجد أن:

$$PR = R + b$$

$$PR = \sqrt{(x_s - x_a)^2 + (y_s - y_a)^2 + (z_s - z_a)^2} + b$$

ويوضح الشكل (٨-٤) ثلاث نقاط تمثل مركز الأرض ومكان الراصد وموقع القمر ويشكل ثلث أضلاعه المسافة الأولى بين الراصد ومركز الأرض (P_0) مجهولة ويعبر عنها بالإحداثيات (x_a, y_a, z_a) والمسافة الثانية هي بعد القمر عن المركز (P_s) ويعبر عنها بإحداثيات القمر (x_s, y_s, z_s) والضلع الثالث هو المسافة بين كل من القمر والراصد (R) وهي الفرق بين إحداثيات كل من القمر والراصد.

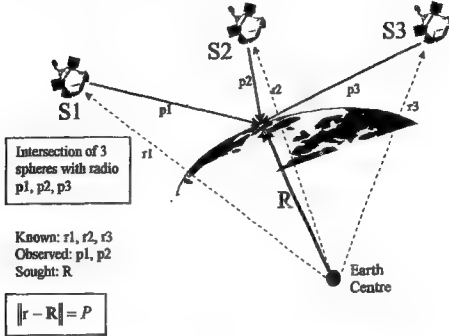


شكل (٤-٨): الإحداثيات منسوبة لمركز الكرة الأرضية

ويتضح من المعادلة السابقة أن عدد العناصر المجهولة في هذه المعادلة هي أربعة عناصر وهي عبارة عن إحداثيات الراصد (x_u, y_u, z_u) بالإضافة إلى خطأ تأخير الوقت (b)، وبالتالي فإنه يلزم لمعرفة هذه العناصر التير معلومة قياس مسافات حسانية (PR) لأربعة أقمار آنية (في نفس الوقت) ومنها يمكن تحديد الإحداثيات الفراغية للراصد.

وبمعرفة الإحداثيات الفراغية يمكن بالطبع تحديد كل من خط الطول (α) وخط العرض (θ) حيث:

$$\tan \alpha = \frac{y_u}{x_u} \quad , \quad \tan \theta = \frac{z_u}{\sqrt{x_u^2 + y_u^2}}$$



A minimum of three satellites are needed for the 3D position unknowns. A fourth satellite is needed to solve for the GPS receiver clock bias as well. A 2D solution can be obtained by using only three satellites.

شكل (٩-٤):

ويوضح الشكل (٩-٤) موقع الرصد على سطح الأرض وموقع ثلاثة أقمار صناعية لكل منها إحداثيات مختلفة ومنها يمكن معرفة إحداثيات الراصد الثلاثة.

ويمكن في الملاحة السطحية Surface Navigation عندما تكون معرفة ارتفاع الراصد عن سطح الأرض غير ضرورية، عندئذ يمكن رصد ثلاث أقمار فقط لتحديد الإحداثيات الجغرافية خط الطول وخط العرض فقط (2D). وهنا يجب الإشارة إلى أن دقة الموقع المرصود لا تتوقف على عدد الأقمار المرصودة، فرصد ثلاثة أقمار يعرفنا كل من خط طول وخط عرض الراصد بينما يوفر رصد أربعة أقمار نفس الإحداثيات لخط الطول وخط العرض بالإضافة إلى ارتفاع الراصد عن سطح البحر (3D).

وحيث أن موقع الراصد يقاس وفقاً للمستوى الجيوديسى للأقمار GPS (WGS-84) فى الأبعاد الثلاثة x, y, z فإن موقع القمر فى مداره يقاس بالأبعاد ذاتها من مركز الأرض بالرصد: x_1, y_1, z_1 حيث (1) يرمز إلى رقم القمر المستخدم، وإذا كان لدينا أربعة أقمار صناعية يمكن رصدها فى آن واحد، فسوف تتكون لدينا أربعة معادلات لكل من الأقمار (1)، (2)، (3)، (4).

4-8 مكونات إشارة نظام GPS

ترسل البيانات الملاحة من الأقمار الصناعية (SV) (Satellite Vehicle) على ترددتين من الترددات العالية جداً فى الشريحة (L) وقيمة كل من الترددين 1575.42 ميجا هرتز (L_1) و 1227.6 ميجا هرتز (L_2) ويبلغ طول الموجة الأولى 19 سم أما الثانية فطولها يبلغ 24.5 سم وكلا الترددان مشتقان من التردد الأساسى للقمر الصناعى والذى قيمته 10.23 ميجا هرتز.

أي أن: التردد الأول (L_1) = $(154 \times 10,23) = 1575,42$ ميجا هرتز،

والتردد الثانى (L_2) = $(120 \times 10,23) = 1227,60$ ميجا هرتز.

ويستخدم تردد ثالث على النطاق الترددى (S) ومقداره 1783,74 ميجا هرتز والذى يخصص للاتصالات بين القمر وبين محطات المتابعة الأرضية.

ومما هو جدير بالذكر أن دقة التوقيت الزمنى للأقمار الصناعية تصل إلى 5,2 ميكروثانية يومياً تقريباً، كما يضمن التردد الثانى من الأقمار الصناعية لأجهزة الاستقبال الممزوجة بأنظمة استقبال الترددتين (Dual Channel) تصحيح تأخير الإشارات فى طبقة الأيونوسفير أو خطأ الانكسار والذى ينشأ عن تأثير الطبقات المؤينة Ionosphere.

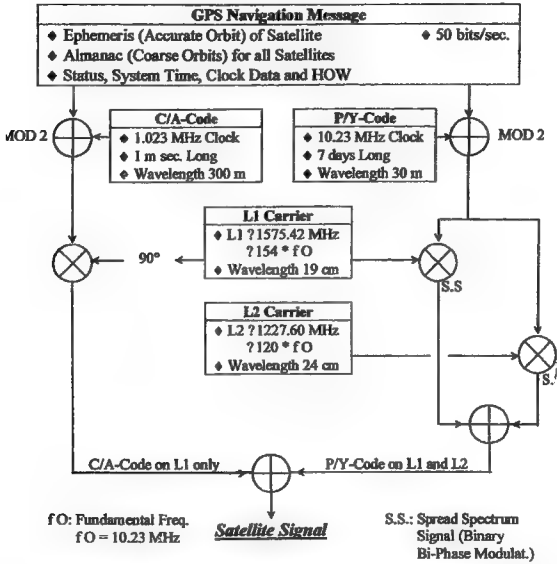
وتستخدم شفرتان لإرسال بيانات الأقمار الصناعية وتسمى الشفرة الأولى الكود العادى Coarse and Acquire (C/A) ويتم إرسالها على التردد العالى (L_1) وتخصص للاستخدامات المدنية أما الشفرة الثانية فهي الكود الدقيق (P-Code) أو الكود المحمى Protected Code ويتم إرسالها على كلا الترددين (L_1)، (L_2) وتخصص للاستخدام العسكرى ويستخدم التعديل الزاوى أو الطورى (Phase Modulation) وطريقة التضمين والتشفير تساعد على مقاومة التداخلات والتشويش المعتمد كما تسمح باستخدام

طاقة إرسال صغيرة نسبياً كما يصل معدل إرسال البيانات الملاحية للقمر الصناعي إلى ٥٠ بايت في الثانية ويتم إرسال بيانات القمر على الكود العادي الأول (CA) والذي يمكن استقباله بواسطة أجهزة الاستقبال التي تستخدم في أغراض الملاحة المدنية والأغراض المشابهة والتي لا تتطلب دقة عالية أو أهمية مميزة في تحديد الموقع.

يبلغ تردد الشفرة الدقيقة P-Code (MHz 10.23) والمحمّل على الموجتين الحاملتين L₁، L₂ (وهو التردد الأساسي لساعة القمر الصناعي)، وهذا يعنى 10.23 مليون قيمة ثنائية (فى النظام العددي الثنائى Binary) فى الثانية Chip/Sec. ويبلغ طول الموجة المتضمنة لكل Chip حوالى ٣٠ متر ويتغير هذا الكود (الشفرة) كل ٢٦٦ يوم ويمكن لكل الأقمار أن ترسل إشارات بنفس التردد، ويعرف كل قمر نفسه بواسطة الجزء الخاص به من الشفرة الأسبوعية التى تبلغ مدتها سبعة أيام والسبب من طول الشفرة هو حمايتها بينما يبلغ تردد الكود الواضح C/A Code والمحمّل فقط على الموجة الحاملة L₁ MHz 1.023، ويبلغ طول الموجة المعدلة لكل Chip به حوالى ٣٠٠ متراً، ويوضح الشكل (٤-١٠) ترددات وكود الإرسال فى نظام (GPS).

وإشارات وترددات الأقمار الصناعية، والرسائل الملاحية Navigation Message التى تبثها الأقمار إلى المستخدمين تحتوي على معلومات ضرورية لتحديد الموقع وتوقيتات الأقمار Satellite Ephemeris ووقت النظام System Time وتصحيحات ساعة القمر Satellite Clock Correction وحالة النظام System Status، هذه البيانات تبث على الموجتين الحاملتين L₁، L₂ بمعدل 50 Bits/sec، ونتيجة لذلك يمكن لكل الأقمار أن ترسل إشارات بنفس التردد.

GPS SIGNAL STRUCTURE



شكل (٤-١): ترددات وكود الإرسال في نظام GPS

كما يمكن استقبال البيانات على كلا الكودين الواضح C/A والدقيق (P) للأجهزة المصرح بها (العسكرية).

ويسمح هذا الخلط بين كلا الكودين (C/A, P) بإنشاء كود جديد وهو (PRX) أو كود المدى العشوائي (Noise Pseudo Random) وهو يتكرر مرة كل ٢٦٧ يوم، كما أن كل قمر من الأقمار المكونة لهذا النظام

يغير طوره مرة كل ٧ أيام وفي منتصف الليل من كل يوم سيت من كل أسبوع حيث يتم إعادة ضبط توقيت الأقمار الصناعية (SV) على وقت النقطة الأساسية الأولى في مداره لتبدأ طور جديد مدته سبعة أيام كاملة وهكذا.

ويعرف الموقع المحدد على أساس الكود الدقيق (P) (PPS) Precise Positioning Service أما الموقع المحدد على أساس الكود العادي (C/A) فيعرف باسم Standard Positioning Service (SPS) أي التحديد القياسي للموقع.

ويخصص الكود الدقيق (P) للاستخدام غير المدني أو الغير تجارى ويقتصر عمله فقط على الاستخدام العسكري لوزارة الدفاع الأمريكية ولطفاً في الغرب ومن غير المنتظر أن يسمح باستخدامها مدنياً في الوقت القريب، وإذا سمح للملاحة التجارية سواء طيران أو بحرية لاستخدام الكود الدقيق (P) فإن الدقة في تحديد الموقع سوف تصل إلى أقل من ١٠ أمتار وهي دقة عالية جداً في تحديد الموقع الديناميكي بالمقارنة مع الأنظمة الملاحة الإلكترونية المتاحة حالياً وحتى يمكن لأي جهاز استقبال من استخدام الكود الدقيق (P) فيجب أولاً أن يحصل على (Handover Password) مفتاح شفيرة أو نظام تميز Encryption System حتى يسمح له باستقبال الكود الدقيق Precise (P)؛ أما أجهزة الاستقبال فتشمل قائمة البيانات التي يبثها القمر الصناعي في رسالة البيانات التي تكرر كل ٣٠ ثانية معلومات عن موقع القمر في المدار وتصحيح أجهزة التوقيت به وتصحيح الوقت النجمي وتقوم تاريخي لجميع الأقمار التي يتكون منها نظام GPS وبيانات عن انحرافات محور دوران الأرض وحالة أجهزة البث والاستقبال بالقمر ووقت آخر بيانات تم تغذيتها إلى القمر من محطات المراقبة الأرضية وبيانات خاصة بنجاح وحدات الشفرة للكود الدقيق (P) ورقم تميز القمر وأي تحذيرات أخرى عند استخدام القمر للتوقيع وتصحيحات الوقت لأجهزة الاستقبال. ويحق الكود الدقيق (P) درجة عالية من الدقة تصل إلى (٥-١٠ متر) كما يذاع

الكنود على ترددين مختلفين L_1 ، L_2 مما يسمح بإيجاد التصحيحات اللازمة للانحرافات التي تنشأ من طبقة التأين بالغلاف الجوى.

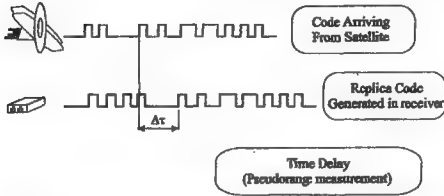
4-8-1- قياس زمن الإشارة بمحاكاة الكنود Code Tracking

فى استخدام نظام GPS لتحديد الموقع فى الوقت الحقيقى Real Time أى تحديد الموقع وتحديد الوقت الذى تم فيه الرصد، فإنه يتم استخدام مقارنة الشفرة التى يرسلها القمر مع الشفرة المماثلة التى ينتجها جهاز الاستقبال وهي الطريقة المستخدمة فى أجهزة GPS المستخدمة فى أعمال الملاحة أو تحديد الموقع أثناء الحركة.

فإذا فرضنا أن هناك إشارتان (شفرتان) متطابقتان فى الطول والشكل والشدة أحدهما تصدر عن القمر الصناعى والأخرى تصدر عن جهاز الاستقبال على سطح الأرض، وبفرض ثبات موقع القمر وعدم حركة الراصد أو الأرض أى فى وضع الثبات، فإنه عندما تتطابق كلا الإشارتين القادمة من القمر والصادرة عن جهاز الاستقبال فإنهما يظلا كذلك بدون تغير.

ولكن حيث أن هناك حركة يمثلها تحرك القمر فى مداره وتحرك الراصد على السفينة أو الطائرة وكذلك حركة الأرض، فإن المسافة بين كل من القمر والراصد لا تظل ثابتة بل تتغير أيضا وتكون المحصلة أن كلا الشفرتين لن تظلا متطابقتين (In Phase) وتعتبر القيمة الزمنية (أو الإزاحة الزمنية الطردية) بين دليل كود (الإشارة) الصادرة عن القمر وبين دليل كود (الإشارة) الصادرة عن جهاز الاستقبال عن الفترة الزمنية التى استغرقتها الإشارة للوصول من القمر الصناعى إلى موقع الراصد على سطح الأرض. ويوضح الشكل (4-11) كلا الإشارتين وقيمة الفترة الزمنية (Δt) التى تدل على فترة الانتشار والتى تستخدم فى حساب المسافة الحسابية (شبه المسافة) بين القمر والراصد. وحيث أن كل من فترة الشفرة الصادرة من جهاز الاستقبال وقياس فرق الطور (الزمنى) بين كلا الشفرتين من القمر الصناعى ومن جهاز الاستقبال تم تحديدها بأجهزة التوقيت بجهاز الاستقبال ذو جهاز التوقيت (الساعة) الغير دقيق، فإن المسافة المقاسة بالتالى تكون غير دقيقة ولذلك تسمى شبه المسافة أو مسافة حياية Pseudo Range.

وتبلغ قيمة الدقة الناتجة من هذا القياس ما مقداره ($1/100$) من طول الكود المستخدم. ففي حالة الكود العادي C/A والذي يبلغ طوله ٣٠٠ متر، فإن الخطأ يبلغ حوالي ٣ متر بينما في حالة استخدام الكود الدقيق (P) والذي يخصص للاستخدام العسكري فإن طول الكود يبلغ ٣٠ متر وبالتالي فإن قيمة الخطأ تبلغ ($1/100$) من هذا الكود أي ٣٠ سنتيمتر وهذا ما يميز الدقة في القياس الدقيق (P) عن الدقة في القياس العادي C/A.



A replica of the satellite code sequence (-1 and +1 values) is generated in the receiver and aligned in time with the incoming satellite signal.

Measurement Noise

C/A Code	~ 3 m
P Code	~ 30 cm

شكل (٤-١١): مطابقة الكود

٤-٢-٢ قياس فرق الطور للموجات الحاملة Phase Carrier Measurement

في بعض الأجهزة الخاصة والتي تستخدم في تحديد الموقع الاستراتيجي أي في غير أغراض الملاحة فإنه يمكن تحديد الموقع بدقة أكبر من الدقة التي تحصل عليها من متابعة الكود العادي (C/A) أو الدقيق (P) وذلك بمقارنة الموجات الحاملة الناتجة عن (L_1) أو (L_2). وفي هذه الطريقة فإن أجهزة الاستقبال الخاصة تقوم بإصدار ترددات مشابهة للترددات الحاملة التي تصدرها الأقمار الصناعية (L_1) وقيمتها ١٥٧٥,٤٢ ميجاهرتز والتي يكون فيها طول الموجة حوالي ١٩ سم، ثم تتم مقارنة الطور (Phase) بين

الموجات القادمة من القمر الصناعي والموجات المتولدة بجهاز الاستقبال. وبحسب الفرق في الطور بين كل من الموجة القادمة والموجة الصادرة محليا وهذا الفرق تكون قيمته جزء من طول الموجة. أما المسافة الحقيقية بين كل من الراصد والقمر الصناعي فإنها تتم بطريقة افتراضية نفترض فيها أن المسافة الكلية تبلغ عدد (N) من الموجات الصحيحة الصادرة من القمر الصناعي بالإضافة إلى جزء من طول الموجة الذي تم قياسه بواسطة فرق الطور أي أن المسافة:

$$PR = NY + \theta\lambda$$

حيث:

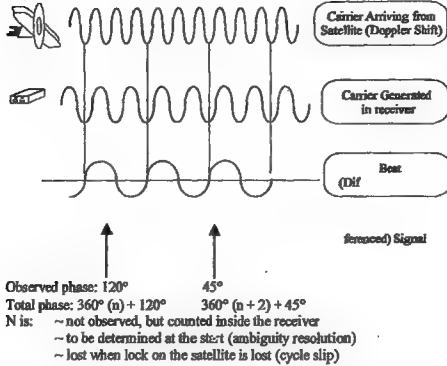
(Y) هي طول الموجة المستخدمة

(N) هو العدد الكلي لطول الموجة الصحيح بين الراصد والقمر

($\theta\lambda$) هي قيمة فرق الطور للموجة الأخيرة فقط.

ويتطلب هذا القياس عدة قياسات تستغرق بعض الوقت حيث تحصل على الرقم الصحيح (N) لعدد الموجات الكاملة بين الراصد والقمر. وتبلغ قيمة الدقة الناتجة عن هذا القياس ما مقداره ($1/100$) من طول الموجة المستخدمة أي حوالي (٠,١٩ سم)، أما إذا استخدمت الموجة الحاملة الثابتة (L) والتي طولها يقدر بحوالي ٢٤ سم، فإن الدقة التي نحصل عليها تصل إلى ٠,٢٤ سم.

وبوضح الشكل (٤-١٢) مقارنة الموجات الحاملة Carrier Waves بين كل من القمر الصناعي وجهاز الاستقبال. وتستخدم هذه الأجهزة في النظم الفرعية لأغراض المسح البحري وأغراض تحديد الموقع الثابت حيث تكون معرفة الموقع الدقيق أكثر أهمية من معرفة زمن التوقيع كما في حالة قياس ومطابقة الكود الذي يستخدم في حالة الملاحة.



شكل (٤-١٢)

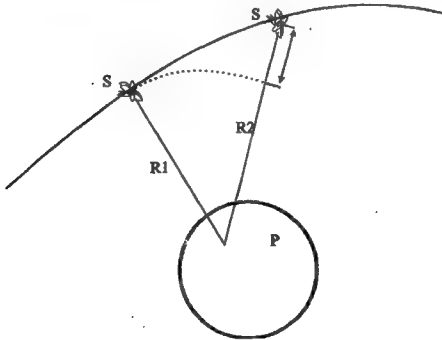
Doppler Shift

٤-٣ قياس فرق الميكر

يمكن أيضا قياس فرق المسافة بين القمر الصناعي والراصد بواسطة قياس فرق الدوبلر كما هو متبع في نظام الترانزيت للإفادة من ظاهرة الدوبلر التي يتغير فيها التردد نتيجة لحركة القمر الصناعي أو حركة الراصد أو من محصلة سرعتيهما، فكما نعلم أنه نتيجة للسرعة النسبية بين القمر الصناعي وجهاز الاستقبال، فإن الترددات التي نستقبلها تختلف عن الترددات المرسله بقيمة تتناسب مع السرعة النسبية بين مصدر الإشارات وبين جهاز الاستقبال، وإذا تم التكامل أي معرفة عدد مرات الفرق بين الترددات المرسله والمستقبله في فترة زمنية محددة فإن ذلك يتناسب مع المسافة بين القمر الصناعي وبين الراصد ومن ثم يمكن تحديد فرق المسافات أو المسافة المائلة أو Slant Range ويوضح الشكل (٤-١٢) قيمة فرق المسافات المقاسة بين مسافتين متتاليتين للقمر الصناعي عند موقع الراصد ونستخدم

إحدى الموجات الحاملة Carrier Waves (L_1)، (L_2) أو كلاهما لقياس اختلاف الدوبلر ويستخدم هذا الفرق في الدوبلر ليس فقط في تحديد الموقع ولكن لأغراض الملاحة حيث يستخدم لتحديد سرعة السفينة أو الطائرة.

وخط الموقع الذي نحصل عليه من نظام GPS وذلك بمعرفة المسافة الحسائية بين الراصد والقمر الصناعي سواء كان ذلك عن طريق قياس فرق الطور أو قياس فرق الدوبلر فإن الدقة في الحصول على خط الموقع دائما تكون عالية جدا وهذه ما يميز هذا النظام عن غيره من الأنظمة الملاحية الأخرى. ويلزم للحصول على إحداثيات الموقع الثلاثة خط الطول وخط العرض والارتفاع عن سطح البحر فإنه يلزم رصد أربعة أقمار في آن واحد.



شكل (٤-١٣): قياس فرق المسافات بقياس الدوبلر

٤-٨-٤ تحديد المواقع الديناميكي Dynamic Position Fixing

إن عملية تحديد الموقع الديناميكي هي رصد الأقمار الصناعية وتحديد الموقع أثناء حركة الراصد سواء بسرعة منتظمة أو غير منتظمة أي أن حركة جهاز الاستقبال تدخل في العمليات الحسابية التي تؤدي إلى تحديد الموقع ولا تكون سرعة القمر الصناعي وحده في مداره هي المؤثرة على تحديد الموقع ولكن يجب حساب الحركة النسبية بين كل من القمر والراصد والتي تشمل على سرعته واتجاهه وحركة السفينة أو الراصد أي على السرعة والاتجاه أو خط السير، وهذه الطريقة تتبع في تحديد موقع الرصدات الغير ثابتة وتستخدم لتحديد الموقع الديناميكي. أما الكود العادي (C/A) أو الكود الدقيق (P) فالكود العادي قد يوفر دقة تصل إلى عدة أمتار فقد تصل إلى ١٥ متر، أما في حالة الكود الدقيق في تحديد الموقع الديناميكي فقد تصل إلى عدة أمتار فقط ويناسب هذا النوع جميع أغراض الملاحة حيث أن الملاحة تشمل على الحركة والانتقال من مكان لآخر سواء البحرية منها أو الجوية أو الفضائية أو الأرضية حيث يجب تحديد الموقع في الوقت الحقيقي (Real Time) عند الرصد في نفس الزمن الذي يقوم فيه القمر الصناعي بإرسال بياناته وهنا يصبح عنصر الوقت والسرعة هامين في تحديد الموقع والأعمال الملاحية المتوقعة بين المواقع المرصودة كما أن تحديد الموقع يجب أن يكون موضحاً بالإحداثيات الجغرافية أي خط الطول وخط العرض الجغرافى للمكان والذي يناسب أغراض الملاحة.

وفي أغراض الملاحة لتحديد الموقع الديناميكي فإن حساب خط الموقع يعتمد على قياس المسافة التقريبية أو المسافة الحسابية بين القمر الصناعي والراصد (Pseudo) حيث يتم قياس المسافة الحسابية بين أربعة أقمار صناعية في آن واحد (Simultaneously) ويكون قياس المسافة الحسابية لأربعة أقمار أمراً ضرورياً إذا كان المطلوب معرفة ارتفاع الراصد فوق سطح البحر أو الارتفاع فوق المستوى الجيوديسى.

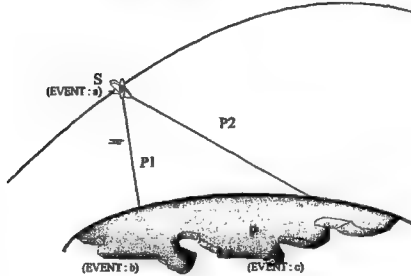
4-8-5 تحديد الموقع الاستاتيكي Statistic Position Fixing

إن عملية تحديد الموقع الاستاتيكي هي عملية رصد لمكان محدد على سطح الأرض أو لمكان ثابت كموقع عائمة أو موقع منصة بتترول بعيدة عن الساحل (Off-Shore) أي أن حركة الراصد لا تدخل في حسابات تحديد الموقع وفي هذه الحالة فإن عملية تحديد الزمن لا يؤثر على الدقة في تحديد الموقع بل أن عدم الحركة يساعد على زيادة عملية تقييم ودقة الموقع التي تتناسب مع الاستخدام والذي غالباً ما يكون موقعا جيوودسيا لأغراض المسح أو أغراض تحديد أهداف أرضية ثابتة.

وفيما يتعلق بتحديد إحداثيات الموقع الاستاتيكي فإنها إما أن تكون إحداثيات جغرافية أي تحديد خط الطول وخط العرض على الخرائط الملاحية الميركاتورية أو الإحداثيات العالمية (UTM) مثل الشماليات والشرقيات وهو ما يطلق عليه عملية تحديد الموقع المطلق Absolute Positioning أو أن تكون عملية تحديد الموقع نسبيا Relative Positioning حيث يتم تحديد الموقع بالنسبة لموقع آخر معلوم أو نقطة مرجعية (Reference Point) كالتي تستخدم في نقاط الربط المثلثية المستخدمة في أغراض المساحة والأغراض المشابهة لها.

وتتطلب عملية تحديد الموقع النسبي والتي تسمى أيضا عملية تحديد الموقع الفرقى Differential Positioning أن يكون هناك اتصال سواء لاسلكي بأجهزة الراديو (RF) أو سلكيا كخط تليفون بين جهازين استقبال أحدهما يثبت في موقع النقطة المرجعية الأولى والمعلوم إحداثياتها بدقة وبين النقطة الثانية التي نرغب في تحديد موقعها النسبي... وهذا ما يستخدم في أعمال المسح المحدودة. والطريقة التفاضلية أو النسبية توفر قدراً كبيراً جداً من الدقة تتناسب مع الفرض المستخدمة من أجله والتي تبلغ عدة سنتيمترات فقط كما يطلق على هذه الطريقة في تحديد الموقع أيضا (Single Point Positioning) ويتضح من ذلك أن طريقة تحديد الموقع النسبي أو النقطة الوحيدة تستغرق بعض الوقت وتتطلب تجهيزات خاصة مثل وجود جهازين للاستقبال وهوائيات متحركة وخط اتصال يربط بين كلا جهازي الاستقبال لمعايرة كل البيانات التي تستقبل بواسطة كل

منهم في آن واحد في مكانين مختلفين كما تتطلب أيضا هذه الطريقة معالجة حسابية خاصة للـ Software للحصول على الموقع النسبي الجديد مع ملاحظة أن عنصر الوقت (Real Time) في هذه الطريقة يلى في أهميته الحصول على دقة عالية في تحديد إحداثيات الموقع.



شكل (٤-١٤): التحديد النسبي أو التفاضلي للموقع

ويشترط في أعمال تحديد المواقع الفرقي أو النسبي أن يكون مدار القمر الصناعي المستخدم في الرصد خالي من الانحراف وأن تكون أجهزة التوقيت به متزامنة وتم معايرتها عند مرورها فوق محطات المراقبة في الدورة التي تسبق الرصد مباشرة وهذا ما يمكن الاستدلال عليه من استقبال البيانات الملاحية لموقع القمر في مداره.

٤-٩: أخطاء وانحرافات نظام جي.بي.إس GPS Errors and Biases

تتأثر قياسات GPS سواء قياسات أشباه المسافة Pseudorange أو قياسات طول الموجة Carrier Phase بأسباب مختلفة من الأخطاء والانحرافات والتشويش تؤدي بالتالي إلى خطأ في إحداثيات الموقع المرصود. وللحصول على دقة عالية لقياسات GPS لابد من فهم سلوك وعضون هذه

الأخطاء لكي يمكن معالجتها بالشكل المناسب وتختلف قيمة الدقة باختلاف الفرض المستخدم فيه النظام في تحديد الموقع كما تختلف باختلاف المكان والوقت وطريقة القياس ونوع جهاز الاستقبال المستخدم والمعالجة الرياضية Processing المستخدمة في القياسات ويرجع وجود الأخطاء بغض النظر عن قيمتها كبيرة كانت أم صغيرة إلى عدم دقة قياس المسافة Pseudorange وأخطاء التميع في دقة الموقع Dop.

4-9-1 أخطاء قياس المسافة Range Measurement Errors

تأثير الرصدات الناتجة عن قياس المسافة بين الراصد وبين الأقمار الصناعية Pseudorange بأخطاء ناتجة عن أربعة عوامل رئيسية:

- أ- أخطاء ناشئة عن مرور الموجات اللاسلكية في الغلاف الجوي للأرض والتي تشمل كل من طبقة الأيونوسفير والتروبوسفير.
- ب- الانحرافات الناتجة عن أجهزة الاستقبال وما يؤثر عليها من تشويش داخلي أو خارجي.
- ج- الأخطاء الناشئة عن عدم الدقة الناشئة من استقبال المسارات المتعددة المنعكسة من أهداف محيطة بالراصد.
- د- أخطاء ذاتية في الأقمار الصناعية وتشمل الأخطاء في موقع القمر بمداره وأخطاء في انحرافات الساعات الذرية به.

كما أنه تجدر الإشارة إلى أن قيمة هذه الأخطاء تزداد وتضاعف بمعامل خاص بالتوزيع الهندسي للأقمار الصناعية في سماء الراصد ويمكن معالجة بعض هذه الأخطاء عن طريق مقارنتها بقياسات وبيانات الأقمار المتاحة أو مقارنة الرصدات المأخوذة من عدد من أجهزة الاستقبال أو الاعتماد على نماذج رياضية لتحليل قيم الأخطاء وتلاشيها، وفيما يلي نستعرض الأخطاء التي تؤثر على قياس المسافة الحسابية.

4-9-2 انحرافات الغلاف الجوي Atmospheric Errors and Biases

تمثل أخطاء وانحرافات الغلاف الجوي ظاهرة فيزيائية تؤثر على انتشار إشارات الراديو ذو التردد العالي التي يستخدمها نظام GPS، وتشتمل على

التأثير اليومي لدرجة التأين في كل من طبقتي الأيونوسفير والتروبوسفير. عند مرور موجات الراديو في الغلاف المحيط بالكرة الأرضية تتأثر أولاً بفعل طبقة الأيونوسفير ثم تتأثر مرة أخرى عند مرورها في طبقة التروبوسفير وتناسب درجة انكسار المسار طردياً مع كثافة التأين وعكسياً مع قيمة مربع التردد المستخدم وعلى ذلك فإن تأثير الغلاف الجوي على قياسات المسافة على التردد الأول (L_1) يكون أقل من تأثيره على قياس المسافة على التردد الثاني (L_2).

أولاً: تأثير طبقة الأيونوسفير Ionospheric Delay

طبقة الأيونوسفير هي تلك الطبقة العليا من الغلاف الجوي التي تكون فيها نسبة الإلكترونات والأيونات الحرة كافية للتأثير على انتشار الموجات الإلكترونية ومناطيسية، ويتراوح ارتفاع هذه الطبقة بين ٥٠-١٠٠ كم عن سطح الأرض حيث تتفاعل الأشعة فوق البنفسجية الساقطة من الشمس مع جزيئات الغاز وتكون طبقة متأينة. هذه الإلكترونات الحرة تشتت الوسط مما يتسبب في تسريع الموجات الحاملة على طول مسار الإشارة، ويطلق تأخير انتشار الإشارة Propagation Delay في طبقة الأيونوسفير بكمية الإلكترونات الحرة والأيونات الموجودة على طول مسار الإشارة وعلى التردد المستعمل. ويسمى الخطأ الناتج عن انتشار الإشارة في طبقة الأيونوسفير بالانكسار الأيونوسفيري Ionospheric Refraction ويتوقف هذا على التردد المستعمل والموقع الجغرافي والزمن، ويتراوح الخطأ الناتج عن الأيونوسفير من ٥-١٥ متر ويمكن أن يصل إلى أكثر من ١٠٠ متر في بعض الأحيان.

وتستفيد أجهزة الاستقبال لثانية التردد (L_2 ، L_1) من تأثير الأيونوسفير المختلف على كل تردد، فباستخدام الفروقات الثانية ولمسافات قصيرة يمكن إزالة معظم تأثير خطأ الأيونوسفير.

الأيونوسفير هو وسط مجثر Dispersive Medium، مما يعني أن سرعة انتشار الموجة الحاملة Carrier Wave تختلف عن سرعة

انتشار الحزمة Group Velocity (انتشار الشفرة). وتستند أغلب مصادلات تشكيل التأثير الأيونوسفيري على فرضيات تقريبية للتمكن من تطبيق علاقات رياضية مناسبة، وتعتبر فرضية الطبقة الوحيدة Single Layer Model من أهم تلك النظريات والتي يتم استخدامها لحد القسم النظامي من التأثير الأيونوسفيري وتنص على اعتبار أن كل الإلكترونات المتواجدة في طبقات الأيونوسفير Total Electron Content (TEC) تكون مركزة في طبقة رقيقة جدا على ارتفاع معين من سطح الأرض.

ويغير رياضيا عن مقدار تأخير أو تأخير الأيونوسفير اليومي بالعلاقة التالية:

$$dion = 40.3 \text{ TEC} / f^2$$

حيث dion تمثل مقدار الأيونوسفير اليومي و f تمثل تردد الموجة الحاملة، وأفضل طريقة لتحسين مقدار خطأ الأيونوسفير يتم بواسطة قياسات الشفرة الدقيقة P-Code على التردد L_1 و L_2 ويمثل رياضيا بالعلاقة التالية:

$$dion_1 = 40.3 \text{ TEC} / f_1^2 = f_2^2 (P_2 - P_1) / (f_1^2 - f_2^2)$$

حيث P_1 و P_2 هي المسافات المقاسة على الشفرة الدقيقة لكل من L_1 ، L_2 .

وتغير كثافة التأين في الجو باختلاف أوقات اليوم فهي بالنهار أعلى منها بالليل كما أن هذه الكثافة تكون أعلى ما يمكن وقت الظهيرة حيث يصل سطوع الشمس إلى أقصاه كذلك تتغير كثافة التأين باختلاف فصول السنة وتبلغ ذروتها في شهر مارس وباختلاف خط العرض فكثافة التأين عند المنطقة الاستوائية أعلى منها بكثير عند القطبين كما تتأثر أيضا بدورة البقع الشمسية.

ويمكن لتغيرات مفاجئة غير منتظمة Irregularities في طبقة الأيونوسفير أن تسبب تغيرات قصيرة الأمد في اتساع Amplitude وطور الإشارة وقد عسى هذه بتأثيرات الوميضان Scintillation Effects وتحدث بشكل رئيسي في الحزام

الجغرافي 30° درجة شمال وجنوب خط الاستواء، وفي مناطق الشفق القطبية Auroral Polar Zones. ومحتوى الإلكترونات العالي يحدث فقط في الأماكن الاستوائية، وتحدث ظواهر الومضان في المناطق الاستوائية بشكل كبير اعتباراً من مرور ساعة بعد الغروب وحتى منتصف الليل تقريباً، لذلك ينصح بعدم القياس بهذا الوقت في حال كون الدقة المطلوبة من القياسات عالية ويمكن أن يسبب تأثير الومضان عدد ضخم من قفزات القياسات Cycle Slips، كما يتغير تأثير الانكسار بالتغير اليومي في درجة التأين بالإضافة إلى دورة البقع الشمسية وفي وجود العواصف الكهرومغناطيسية وكلما زاد التردد كلما قل تأثير الانكسار. ويعانى النشاط الشمسي Solar Activity من زيادة في الشدة أو ضعف على فترات دورية متساوية تقريباً تبلغ 11 سنة وهي فترة دوران الشمس حول نفسها، وعندما يبلغ النشاط الشمسي ذروته، فإنه يؤثر على الإشارات المبنوثة من الأقمار الصناعية ومن ضمنها بالطبع أقمار الملاحة GPS وتصل قيمة الخطأ الناشئ عن الانكسار في طبقة الأيونوسفير حوالي 30 متر خلال النهار وتقل إلى 7 أمتار ليلاً وتقل بالطبع في حالة استخدام الترددات (L_1) ، (L_2) حيث يمكن حساب تأخير كل منهما.

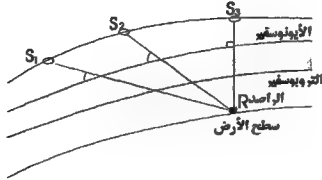
٣.١.١ تأثير طبقة التروبوسفير Tropospheric Delay

طبقة التروبوسفير Troposphere هي طبقة الغلاف الجوي السفلى والتي تمتد من سطح الأرض حتى ارتفاع حوالي 50 كم وتتأثر فيها سرعة انتشار الموجات فقط وفق محتوى بخار الماء ودرجة الحرارة فيها، وتعتبر طبقة التروبوسفير طبقة غير مبعثرة للتردد الأقل من 30 جيجا هرتز. وتأثير التروبوسفير متماثل على كل من قياسات الشفرة (الكود) وقياسات الموجة الحاملة ويرتبط تأثير التروبوسفير على طول المسافة التي تقطعها الإشارة، فالإشارة القادمة من الأقمار ذات الارتفاع المنخفض تقطع مسافة أطول من الإشارة القادمة من الأقمار

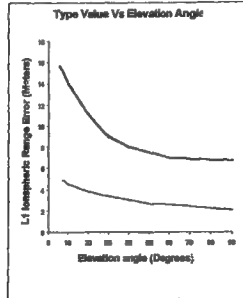
ذات زاوية ارتفاع عالية ولذلك فتأثير التروبوسفير يكون أقل ما يمكن عند السمـت Zenith وأكبر ما يمكن عندما يكون القمر قريب من الأفق، ويبلغ مقدار خطأ تأثير التروبوسفير من ٢-٤ متر عند السمـت ومن ٣-٩ متر تقريباً إذا كانت زاوية ارتفاع القمر تقل عن ٩٥ من الأفق. ويمكن تقسيم طبقة التروبوسفير إلى مركبتين أحدهما جافة والأخرى رطبة؛ والقسم الجاف يكون مسئولاً عن ٩٠٪ من قيمة التأثير ويمكن التنبؤ بها بدرجة عالية من الدقة باستخدام النماذج التقريبية، أما القسم الرطب فليس من السهولة حسابه والتنبؤ بمقدار الخطأ الناشئ عنه ويمكن حسابه بعلاقة من الارتفاع وزاوية القمر باستخدام قياس كثافة الطاقة الإشعاعية في بخار الماء Water Vapour Radiometers (WVR).

تستخدم أجهزة الاستقبال المتطورة عوامل تصحيح آنية خلال حساب المسافات، ولكن باعتبار أن المناخ الجوي متغير من نقطة إلى أخرى ومن لحظة إلى أخرى فإنه من المعوبة تأمين عوامل التصحيح المناخية المناسبة التي تعوض التأخير الناتج عن اختلاف سرعة الإشارات كما أن عدم استخدام نموذج رياضي للتعبير عن التأخير الناتج عن طبقة التروبوسفير قد يعطى نتائج بعيدة عن الحقيقة.

ويوضح الشكل (٤-١٥) العلاقة بين موقع القمر الصناعي في مداره وتأثير الانكسار على قياس المسافة، كما يوضح الشكل (٤-١٦) قيمة خطأ الانكسار المقابل للارتفاع الزاوي للقمر فوق الأفق.



شكل (١٥-٤):



شكل (١٦-٤):

وحيث أن خطأ تأثير الغلاف الجوي يعتبر من أكثر العوامل المؤثرة على دقة القياس، فإنه يجب الأخذ في الاعتبار الاحتياطات الضرورية للتقليل من قيمة الخطأ وهي استخدام الترددات (L_1) و (L_2) في القياس.

مما سبق يتضح أن قيمة الانكسار تختلف باختلاف قيمة التردد إذا كانت كثافة التآين ثابتة وبالتالي فإن استخدام كلا الترددين فى قياس المسافة الحماية يمكننا من قياس معامل الارتباط وتأثير الانكسار على كل تردد على حدة حيث:

$$\therefore d_1 = \frac{N_1}{L_1}$$

$$\therefore d_2 = \frac{N_2}{L_2}$$

$$\therefore \frac{d_1}{d_2} = \frac{L_2^2}{L_1^2}$$

حيث (d) هي قيمة التأخير الناتج عن انكسار التردد (L) فى وجود كثافة التآين (N).

ويلاحظ فى هذا الشأن أن أجهزة الاستقبال العادية التى تستخدم الكود العادى C/A لا تستخدم سوى تردد واحد فقط وهو التردد العالى (L₁)، أما الأجهزة التى تستخدم فى النظام السكرى الدقيق بالكود الدقيق (P) فإنها تستخدم كلا من التردد (L₁)، (L₂) وبالتالي فإن قدرة هذه الأجهزة على معالجة وتعويض تأثير الانكسار يكون كبيراً.

٤-٣ أخطاء المراقبات الناتجة عن أجهزة الاستقبال Receiver Biases

تتضمن الأخطاء الناتجة عن أجهزة الاستقبال على تشويش القياسات وخطأ ساعة أجهزة الاستقبال.

أولاً تشويشات قياسات أجهزة الاستقبال Receiver Measurement Noise

تنتج تشويشات أجهزة الاستقبال عن قصور فى تلك الأجهزة الإلكترونية. وتتضمن انحرافات بين القنوات Interchannel Biases، التدبذب اليومي للطور Phase Delay Variation وعدم استقرار مولد

الءرءوءاء Oscillator Instability ءبعا للءوامل الءارءفة كالرفاء وءركة الأرض وءغفرءاء مرءز الطءور فف الءوائفف Phase Center Variations.

ومن البءفءف أن أءوءة الاسءبال الءف ءءوءف على مرءءاء إءءرونفة (Kalman) ءكون أكءر مءاومة للءءوئف الءارءف وبالفالف ءكون أءءر على إعطاء قفاساء أكءر ءقة من ءفرفا.

ثالفاف: ءطأ ساءة وهاز الاسءبال Receiver Clock Error

ءءبر ساءاء أءوءة الاسءبال أقل ءقة من ساءة القمر ولءلك ففان أءءاء ساءاء أءوءة الاسءبال ءكون أكبر من أءءاء ساءاء القمار الصءاءة. وعلى أف ءال فمكن إزالءه الءطأ ضمن العءاصر الففر مءروفة فف مءاءلاء قفاس المسافة الءصاففة (PR) كما ءءءلف ءقة فف أءوءة القفاس وفقا للءفاء فف صءاءة الأءوءة والمءوءاء والءوائف الإءءرونفة بفاف.

٤-٩-٤ ءطأ المسار المءءءء Multipath Error

فءبر ءطأ المسار المءءءء من أكبر مءاءر الءطأ والءف فءوقف على مكان الراءء وعلى المؤءراء المءفءة بمكان الراءء وعلى الإءراء الواءءة من القمار الصءاءة سواء ارءءء أو انعءسء من أءءاء مءفءة بمكان الراءء مثل المبائف أو أءزاء مءءفة بالسفففة أو أرض أو أف أءءاء عاكسة باءرب من مكان الرءء. وفف هءة الءالة ففان ءهاز الاسءبال سوف فءءبل كل من الإءراء الواءءة من القمر مفاشرة والإءراء الواءءة من العاكساء المءفءة بأءوءة الاسءبال كالأففة والءبال وأمواء البءر والسفن المءفءة أو أءزاء السفففة والفف ءرء بعء وصول الإءراء الأساسفة مع أءءلاف وقء الوصول أو طور الاسءبال مما فؤءر فف وءوء ءطأ ءءاسب قفمءه مع بعء المسار المءءكس وفؤءر على كل من قفاس المسافة وقفاس الطور. وءءءلف قفمة هءا الءطأ باءءلاف المكان وزاوفة رؤفة القمار الصءاءة، وءكون هءة القفمة مءفءرة وءبفرة نوعاف ما عنءما فكون ءهاز الاسءبال مءءركاف كما فف

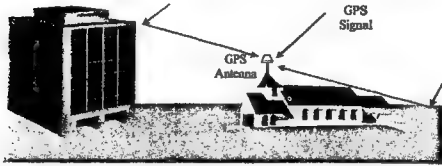
السفن والطائرات حيث يختلف المكان وتختلف زاوية خط السير ويكون تأثير المسار المتعدد على الكود العادى (C/A) أكبر من تأثيره على الكود الدقيق (P) أو المشترك (P/Y). وأفضل وسيلة للتغلب على تأثير المسار المتعدد هو الاختيار الصحيح لموقع ومكان الهوائى الذى يجب أن يكون بعيداً عن الأغراض التى من شأنها عكس إشارات الأقمار.

ووصول الإشارة متأخرة بعض الشيء عن الإشارات المباشرة يؤدى إلى تداخل وتراكب الإشارات المتأخرة مع الإشارة المباشرة مسببة وجود نتائج غير صحيحة فى إحداثيات موقع جهاز الاستقبال، يعتبر تأثير المسار المتعدد من أهم الأخطاء المؤثرة على دقة GPS ويرجع ذلك إلى صعوبة تحديده وتغيره من فترة إلى أخرى بسبب الدوران المستمر للأقمار. وكمثال واقعى يومى على هذا الخطأ يمكن أن يلاحظ فى أجهزة التلفزيون عندما تظهر ظلال متعددة للصور الأصلية على الشاشة بسبب أن الإشارة المبنوثة من المحطة الرئيسية قد تأخذ أكثر من مسار لتصل إلى هوائى التلفزيون وبالتالي تظهر عدة صور متراكبة فوق بعضها البعض فى نفس الوقت. يؤثر تعدد مسار الإشارة Multipath على كل من قياسات طور الموجة الحاملة والشفرة وتأثيره على قياسات الشفرة أكبر بمرتين من تأثيره على قياسات طور الموجة الحاملة.

يمكن اختزال تأثير تعدد المسارات Multipath على تعيين الموقع بواسطة القياس لفترة طويلة، وهذا لا يمكن تحقيقه فى الموقع الديناميكى ولذلك ينصح بتجنب هذا التأثير أو العمل على تصغيره قدر الإمكان.

ويوضح الشكل (٤-١٧) الاحتمالات المتوقعة لمسارات الإشارات الواردة من القمر الصناعى وهي احتمالات لا يمكن التنبؤ بها وتقل قيمتها غير معروفة وإن كانت ليست بقيمة كبيرة على أي حال. ويمكن تقليل قيمة الخطأ الناشئ عن الاتكمار المتعدد عن طريق اختيار مكان مناسب لموقع تثبيت مكان هوائى جهاز الاستقبال حيث يكون بعيداً قدر الإمكان عن الإنشاءات التى قد تعكس الإشارة وتسبب مساراً مختلفاً. ومما هو جدير بالذكر أن الخطأ الناشئ عن المسار المتعدد Multipath من الأخطاء التى يصعب

تلاشيها أو تقدير قيمتها بدقة، ولكن نظراً لأن القمر الصناعي يقع على مسافة بعيدة جداً من الراصد (٢٠٠٠-٢٥٠٠٠ كيلومتراً)، فإن الفرق بين المسار المباشر والمسار المنعكس من الأجسام المحيطة بالهوائي يكون صغيراً جداً.

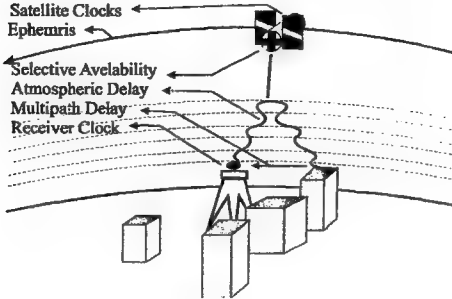


شكل (٤-١٧): تأثير المسار المتعدد

٤-٩-٥ أخطاء حركة الموائى Attitude Errors

تمثل قاعدة هوائى جهاز الاستقبال نقطة القياس الدقيق لموقع الراصد فى الإحداثيات الثنائية (2D) أى فى قيمة خط الطول وخط العرض فى الإحداثيات الجغرافية. فإذا كان جهاز الاستقبال مثبتاً على سطح السفينة أو طائرة أو مركبة متحركة قابلة للميل أو الدفلة أو قابلة للحركة خارج المحور الرأسى والأفقى، فإن الموقع المرصود سيكون ذلك الموقع الدال على نقطة تثبيت الهوائى. ويظهر هذا الخطأ كقيمة انحراف متغير (ث) فى حالة درفة السفن أو انحراف ثابت فى حالة ميل السفينة وتزداد قيمة الانحراف الأقصى كلما زاد ارتفاع الهوائى عن السطح الجيوديسى المحدد للقياس. أما أجهزة الاستقبال الثابتة فإنها لا تتأثر بالطبع بالانحراف الناتج عن الدرفة أو الحركة (Dynamic Error).

ويوضح الشكل (٤-١٨) مجموعة العوامل التى تؤثر على دقة الموقع فى نظام جى بى أس.



شكل (٤-١٨): العوامل المؤثرة على دقة نظام GPS

٤-٩-٦ أخطاء وانحرافات الأقمار الصناعية

تتضمن أخطاء المدار Ephemeris Errors وأخطاء سرعة القمر Satellite Clock Errors والأخطاء الناتجة من تأثير الإثابة المختارة S/A.

Ephemeris Errors

أخطاء المدار

إن الفروقات بين التقديرات Ephemeris المتنبأ عنها وبين حالات المدارات الحقيقية تنقل إلى مواقع هوائيات المستقبل. ومن المؤكد أن المركبة القطرية لخطا المدار تؤثر على عملية تعيين شبه المسافة وبالتالي موقع المرصود، وبصورة أكبر في حالة تحديد الموقع المطلق عنها في حالة تحديد الموقع النسبي. ويتم التغلب على أخطاء المدار باستخدام الفروقات الثنائية بين أجهزة استقبال فصلها عن بعضها مسافات قصيرة، وكقاعدة تقريبية عامة يؤثر خطأ مدار (dt) على خط قاعدة Baseline بين راصدين طول (b) بالعلاقة التالية:

$$\frac{db}{b} = \frac{dr}{R}$$

$$\frac{\text{الخطأ في خط القاعدة}}{\text{طول خط القاعدة}} = \frac{\text{الخطأ في المدار}}{\text{المسافة بين الراصد والقمر}}$$

حيث:

(dr): خطأ المدار

(b): طول القاعدة

(R): بعد القمر الصناعي عن محطة القياس.

ويتراوح تأثير خطأ المدار من ٥ إلى ١٠ متر ويتزايد ليصبح من ٥٠ إلى ١٠٠ متر في حالة تشغيل الخطأ المعتمد S/A. يتم تعيين التقويمات الدقيقة Precise Ephemeris من قبل وكالة الخرائط التابعة لوزارة الدفاع الأمريكية U.S. Defense Mapping Agency معتمدة على قياسات من ١٠ محطات موزعة حول العالم (خمس محطات مراقبة Operational Control Stations OCS تابعة للقسم الفضائي لنظام GPS وخمس محطات تابعة لوكالة الخرائط الأمريكية وتقع في كل من أمريكا، إنجلترا، البحرين وأستراليا). وتتألف التقويمات الدقيقة من إحداثيات كل قمر وذلك في جملة الإحداثيات المثبتة بالأرض بنظام WGS84 المرجعي المعتمد وطريقة الحساب مطابقة لمعايير الخدمة الدولية لـدوران الأرض International Earth Rotation Service (IERS). وتقدر أخطاء المدار في التقويمات الدقيقة في حدود من ١ إلى ٣ متر.

ثانياً، أخطاء ساعة القمر Satellite Clock Errors

كل قمر من أقمار المجموعة الثانية Block II يحتوي على أربعة ساعات ذرية، الثلاث من نوع سيسيوم والثنتين من نوع روبيديوم

وواحدة منها فقط تقوم بتوليد التردد المطلوب وحساب الوقت وبقيّة الساعات هي ساعات احتياطية.

ومع أن ساعات القمر ذات دقة عالية لكنها معرضة لبعض الأخطاء، والخطأ الناتج عنها يصل تأثيره إلى جميع المستخدمين ويمكن إزالته خلال القياسات الفرقية بين أجهزة الاستقبال حيث تحتوي الرسائل الملاحية المرسلة من الأقمار الصناعية على تصحيحات لأخطاء ساعة القمر مهما كانت صغيرة. ويعمل الاختلاف البسيط في توقيت ساعات القمر الصناعي على اختلاف قيمة المسافة المقاسة وبالتالي وجود خطأ في الموقع، ويجب ملاحظة أن أخطاء الساعات الذرية ستكون متساوية لجميع المستخدمين ويمكن معالجتها عن طريق تصحيحات تبثها محطات خاصة بمتابعة الأقمار الصناعية وتصل قيمة هذه الأخطاء إلى جزء من النانوثانية أي (10⁻¹⁰) من الثانية.

٤-٧ خطأ الإتاحة الاختياري Selective Availability (SA)

عند تصميم نظام GPS كان الهدف الأساسي لاستخدامه أن يكون نظام خاص بوزارة الدفاع الأمريكية وبعد ذلك تم السماح باستخدام النظام بدرجة أقل من الدقة وفقاً للكود العادي C/A والذي تم إبطاؤه فيما سبق واقتصر استخدام الكود الدقيق (P) على الاستخدام العسكري فقط، غير أنه -وخلافاً لما هو متوقع- فإن الدقة التي توصلت إليها أجهزة الاستقبال في تحديد الموقع بواسطة الكود العادي كانت أيضاً عالية ولم يكن هناك فرق كبير بين الكود العادي والكود الدقيق حيث بلغت الدقة للكود الدقيق عشرة أمتار والدقة للكود العادي عشرة أمثاله أي ١٠٠ متر فقط مما دعى وزارة الدفاع الأمريكية إلى إدخال نظام يعمل على تقليل الدقة أو إضعاف النتائج التي تحصل عليها باستخدام الكود العادي وسمي هذا النظام بالإتاحة المختارة (SA) وهو يهدف إلى زيادة الأخطاء عن عمد وتميز الكود الدقيق عن الكود العادي بدرجة كبيرة... وتتسبب الأخطاء المتمثلة (SA) في وجود خطاين أساسيين الأول منهما يسمى خطأ دلتا ويرمز له بالرمز (δ) وهو ناتج عن تفرج أو اختلاف ذبذبات ساعات القمر

بطريقة عشوائية وهذا الخطأ بالطبع سوف يؤثر على جميع المستخدمين للكوند العادى C/A، أما الخطأ الثانى فيسمى خطأ زيتا الإضافى ويرمز له بالرمز (Z) وهو يعمل على تغيير بيانات مدار القمر غير الياناعات الحقيقية لمداره الحقيقى، وبإضافة هذا الخطأ (SA) فإن الخطأ فى المستوى الأفقى للراصد قد يتراوح بين ١٠٠ متر إلى ١٥٠ متر بنسبة ٩٥٪ من الاحتمالات وهذا ما حدا بالعلماء اللجوء إلى استخدام النظام الفرقى Differential للتغلب على الخطأ الناشئ عن الإتاحية الاختيارية ويوفر دقة أفضل من ١٠ متر. وقد تم إلغاء نظام الإتاحية المختارة SA من إشارة الأرقام الصناعية وجعل النظام متاحا للجميع بدون أخطاء معتمدة تقلل من دقة المواقع المرصود اعتبارا من مايو ٢٠٠٠.

٤-٩-٣-١ أسباب إلغاء الإتاحية الاختيارية

لقد تم تشغيل نظام (SA) لأول مرة يوم ٢٣ فبراير سنة ١٩٩٠ لم تولف العمل به أثناء عمليات حرب الخليج فى ٢ أغسطس سنة ١٩٩٠ ثم أعيد تشغيله على الكود العادى اعتبارا من مارس سنة ١٩٩١ حتى تم إلغاؤها أو تخفيض قيمتها إلى الصفر بقرار رئاسى أمريكى فى أول مايو سنة ٢٠٠٠. وقد يكون من أهم أسباب إلغاء العمل بنظام الإتاحية الاختيارية النظرة الاقتصادية فى ظل رأي عام أوروبى أو عالمى يعمل على إنشاء نظام جديد للأرقام الصناعية مثل أجنوس أو جاليليو والذى يأخذ فى أولى اهتماماته تجنب العيوب الموجودة فى النظام الأمريكى GPS بأن تكون شفرته خالية من الخطأ المعتمد (SA) وعندما رأت الإدارة الأمريكية أن نظام GPS لم يعد النظام الوحيد فى المستقبل الذى يوفر خدمة عالية الدقة فى تحديد الموقع، فكان قرارها الصائب بإلغاء هذا الخطأ (SA). فهناك النظام الروسى GLONASS الذى يقدم الخدمة بدون إضافة أخطاء معتمدة، وهناك نظام EGNOS الأوروبى الذى يقوم على مبدأ التكامل بين GPS و GLONASS حيث يبث إشارات كلا النظامين إلى المستخدمين عبر أقمار الاتصالات بالإضافة إلى قيام الدول الأوروبية بإنشاء نظام جديد خاص بها يماثل نظام GPS والمسمى ججاليليو. ومن أجل المحافظة على

المستخدمين لنظام GPS على مستوى العالم وضمان استمراريتهم في استخدام نظام GPS وعدم التوجه إلى استقبال هذه الخدمة من مصادر أخرى، خاصة إذا علمنا أن صناعة أجهزة استقبال GPS من أجهزة وبرامج مساعدة تقدر بما يقارب ٨ بليون دولار أمريكي، ويوجد ما يقارب من ٤ مليون مستخدم للنظام حول العالم، ومن المتوقع أن يصل الدخل من هذه الصناعة إلى ما يقارب ١٦ بليون دولار أمريكي قبل أن تطير أي من الأقمار الصناعية الأوروبية المنافسة له. أدت تلك العوامل وبضغوط من الشركات الأمريكية المصنعة لأجهزة وبرامج GPS وأجبرت الحكومة الأمريكية على إلغاء الإلحاحية المختارة SA. ويجب ملاحظة أن إلغاء الخطأ المتمدد (SA) حالياً لا يعنى إلغاؤها بصفة قاطعة وإنما تظل الإمكانية موجودة في حالة الضرورة والتي تستدعي أن تعود الإدارة الأمريكية ولأسباب أمنية إلى تشغيل الإلحاحية الاختيارية SA مرة أخرى.

٤-١- التخميم أو التخفيف في دقة الموقع Dilution of Precision (DOP)

يستخدم الاصطلاح (دوب) للدلالة على تركيز عوامل الدقة المتوقعة في تحديد الموقع المرصود والناجمة من توزيع الأقمار في مكان الرصد، فكلما قلت درجة التميع أو التخفيف (Low DOP) كلما زادت دقة الموقع والعكس صحيح، وكلما ازداد التميع أو التخفيف (High DOP) تقل درجة الدقة في تحديد الموقع.

ويمكن الاستدلال على مقدار التميع أو التخفيف بتقدير حجم الفراغ الذي تحصره الأضلاع التي تصل بين الأقمار الصناعية المستخدمة وموقع الراصد. ويوضح الشكل (٤-١٩) درجة التخفيف عندما يكون حجم الفراغ صغيراً حيث تزداد درجة التخفيف وتقل دقة الموقع وعندما يكون حجم الفراغ كبير تقل درجة التخفيف وتزداد دقة الموقع المرصود.

ويمكن تحليل درجة التخفيف في كل من المستوى الأفقي والمستوى الرأسي، وفي هذه الحالة يسمى التميع الأفقي (H DOP) والتميع الرأسي (V DOP).

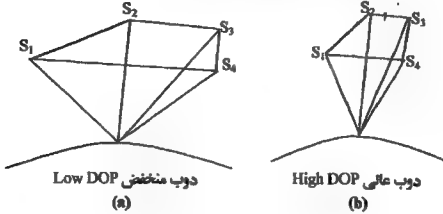
ويوجد بمعدّلات أجهزة الاستقبال وحدات خاصة لتحديد درجة التميع المقبولة أو الدقة المطلوبة في تحديد الموقع وذلك يعمل التحليل الجيومترى المناسب لقياس هذه الدرجة، فإذا كان المطلوب درجة عالية من الدقة في الموقع أي درجة منخفضة من التميع أو التخفيف فإن ذلك يتطلب وجود عدد كبير من الأقمار الصناعية من ٨ إلى ٩ أقمار حتى يستطيع جهاز الاستقبال اختيار أفضل الأقمار التي توفر هذا القدر من الدقة. ويمكننا القول أنه كلما اتسعت الزاوية بين الأقمار كلما تحسنت القياسات، ويختار جهاز الاستقبال أفضل أربعة أقمار ذات المواقع النسبية الجيدة مما يقلل من قيمة التميع أو التخفيف.

ومما هو جدير بالذكر أن إمكانية الرصد وتحديد الموقع (الإتاحة Availability) تتناسب مع مقدار الدوب، فعندما يكون الدوب المطلوب قيمة صغيرة - وهذا يعني أن الدقة المطلوبة تكون عالية- فإن احتمال توافر الأقمار الصناعية المناسبة وتوزيعها الهندسى الجيد فوق أفق الراصد يكون احتمال ضعيف، وبذلك تقل إتاحة رصد الموقع؛ والعكس صحيح، فكلما زادت قيمة الدوب تزداد معه إتاحة الرصد حيث يمكن لجهاز الاستقبال رصد أي مجموعة أقمار متواجدة وقت الرصد لتحديد الموقع، ولذلك يجب على الملاحين اختيار قيمة الدوب التي توفر قدر مناسب من الدقة وأيضاً درجة عالية من الإتاحة.

ولتحديد قيمة الدقة الناقصة عن التوزيع الهندسى أو التميع (الدوب) فإن الأخطاء الناتجة عن جميع عناصر قياس شبه المسافة بين الراصد والقمر الصناعى يتم تحديدها بوحدات المسافة مثل أخطاء جهاز الاستقبال وأخطاء ساعات القمر الصناعى وأخطاء المدار وتأخير طبقة الأيونوسفير والمسار المتعدد بقيمة الانحراف المعيارى لكل منها (٥).

ويكون حاصل ضرب الانحراف المعيارى مع معامل زيادة Scale Factor قيمة أكبر من الواحد الصحيح فإنها تزيد من قيمة المسافة الحماية وبالتالي تخفف أو تقلل من دقة الموقع.

ويسمى هذا المعامل بالمعامل الهندسى للدقة GDOP وتصبح دقة الموقع مساوية: $\delta: \text{Position Accuracy} = \text{GDOP} \times$



شكل (٤-١٩): التوزيع الهندسى للأقمار عند الرصد

وبلاحظ من الشكل (٤-١٩) أنه عندما تكون الزاوية بين الأقمار المرصودة كبيرة ينتج عن ذلك انخفاض مقدار التميع وبالتالي تزداد الدقة، والعكس صحيح كما يظهر فى الشكل (٤-١٩b) حيث أن الدوب يكون عالى وبالتالي تنخفض درجة الدقة فى رصد الموقع.

ويجب ملاحظة أنه عندما يطلب الراصد درجة منخفضة من الدوب فإن احتمال توافر مثل هذه الظروف التى توفر درجة منخفضة من الدوب ودرجة مرتفعة من الدقة فإن مقدار الإثابة منخفضة.

وقد يكون من غير الممكن الحصول على موقع مرصود بواسطة جهاز الاستقبال وتتراوح قيمة الدوب بين أقل قيمة لها والتى يعبر عنها فى الكثير من أجهزة الاستقبال بقيمة عددية منخفضة (٥) بينما تحدد القيمة العظمى للدوب برقم كبير والذى بالطبع يضاعف من مقدار الخطأ أو الإزاحة عن الموقع الحقيقى وتسمى الدقة فى المستوى الأفقى (H DOP) وتساوى:

$$H DOP = \sqrt{N^2 + E^2}$$

حيث N, E هي إحداثيات الموقع فى المحاور (x, y) ، أما الدقة الجيومترية (G DOP) فهي تعادل:

$$P\ DOP = \sqrt{N^2 + E^2 + V^2}$$

وهي تعادل الدقة فى الإحداثيات الثلاثة (x, y, z).

$$P\ DOP = \frac{K}{V}$$

حيث (V) هي حجم الفراغ الذى تحده الأضلاع الواصلة بين موقع الراصد وموقع الأقمار المستخدمة.

ويحبر عن التميع فى الزمن بالمصطلح (DOP T) والتميع فى المستوى الرأسى (DOP V)، وتكون محصلة ضرب الانحراف المعيارى (σ) لعناصر المواقع (x, y, z) فى مقدار التميع (الدوب) هو قيمة الخطأ فى موقع الراصد.

ومن المهم تحديد قيمة الدوب فى الملاحة وقد يكون تحديد القيمة يدويا بمعرفة الراصد أو آليا بواسطة جهاز الاستقبال إذا ما طلب الحصول على أعلى قيمة ممكنة لدقة الموقع.

ويجب ملاحظة أن القيمة العالية من الدقة قد لا تتوفر لعدم وجود أقمار موزعة توزيعا مناسباً وقت الرصد.

ويرجع وجود الاختلافات فى قيمة الإحداثيات عن المقدار الحقيقى إلى وجود أخطاء ومؤثرات لم تقم بمعالجتها أو تصحيحها كليا.

وبوجه عام فإن وجود عدد كبير من الأقمار الصناعية فوق سماء الراصد سوف يساعد على اختيار المجموعة المناسبة التى توفر دوب منخفض وبالتالي دقة عالية.

كما نلاحظ أن الدوب الرأسى (DOP V) دائما يكون أكبر من الدوب الأفقى (DOP H) والسبب فى ذلك يرجع إلى أن جميع الأقمار التى تم رصدها تقع جميعها فوق الراصد أى فى ناحية واحدة منه، وحتى يتضح المعنى المقصود من ذلك، فيفرض أن الكرة الأرضية شفافة وأنه يمكن للراصد رصد الأقمار من الجهة الأخرى من الأرض فهذا يعنى أن الراصد يستطيع رصد أقمار فوقه وأقمار أخرى أسفل منه عبر حاجز الكرة الأرضية وهذا ما لا يستطيع، وبذلك تظل الأقمار فى جانب واحد وبالتالي فإن التميع الرأسى يظل أكبر دائما من التميع الأفقى، غير أنه فى بعض أجهزة

الاستقبال التي تستخدم ساعات، أكثر دقة فإن الإحداثي الرأسى يمكن تقديره بدقة أفضل، وهناك ثلاثة حالات تؤدي إلى رداءة التوزيع الهندسى للأقمار وهي:

- عندما تكون جميع الأقمار واقعة على نفس الارتفاع الزاوى.
- عندما تقع الأقمار على اتجاه واحد من الراصد.
- عندما تكون الأقمار الصناعية واقعة بالقرب من بعضها البعض من مكان الراصد.

Time Relativity

٤-١١ النسبية الوقت العامة والخاصة

تتأثر مذبذبات الأقمار الصناعية بنسبية الوقت وبالتالي فإن دقة الساعات الزمنية سوف تتأثر بهذا الاختلاف، وفي حينه تكون كل من الساعات القمرية وساعات محطات المتابعة الأرضية متزامنة ومتطابقة عندما يكون كلاهما على سطح الأرض وينشأ اختلاف بسيط بينهما عندما يوضع القمر الصناعى فى مداره الخارجى بعيدا عن جاذبية الكرة الأرضية. وهناك نوعان من الجاذبية تؤثران على التزامن والتوافق الدقيق بين الوقت الذى بالقمر وبين وقت محطات المتابعة، وتسمى الأولى منهما بالنسبية العامة والتي أشار إليها إسحق نيوتن فى القرن السابع عشر والتي أوضح فيها وجود انكماش Compression فى الوقت أو التأخير عندما تكون أجهزة قياس الوقت واقعة تحت تأثير نطاق جاذبية عالى، وبالتالي فإن ساعات الأقمار الصناعية ستكون متأخرة بعض الشيء عندما تكون قريبة من سطح الأرض، ولكن عندما يبعد القمر بعيدا عن مكان الجاذبية Special Relativity فإن ساعات القمر سوف تبدو وكأنها أسرع أو متقدمة عن ساعات محطات المتابعة الأرضية. وتساوى كل من النسبية العامة لتأخير الوقت والنسبية الخاصة (إسراع الوقت) عندما يكون بعد القمر مساويا لأربعة أضعاف نصف قطر الأرض.

وحيث أن أقمار جي. بي. أس تقع بعيدا عن هذه القيمة فإن النسبية الخاصة تفوق تأثير النسبية العامة، ويبدو وقت القمر أسرع عن وقت محطات المتابعة. وتبلغ قيمة الاختلاف بين وقت القمر ووقت محطة المتابعة نحو ٣٨

نانو ثانية يومياً، وهذه القيمة رغم صغرها يمكنها أن تسبب خطأ يعادل ١١ كم إذا لم تصحح قيمتها. وتتم معالجة هذه الزيادة أو التسارع في الزمن عن طريق تخفيض التردد الذي يرسله القمر بمقدار ٠,٠٠٤٥ ذبذبة/ثانية عن التردد الأساسي (١٠,٢٣ ميجا هرتز). وعندما تصل هذه الذبذبات إلى سطح الأرض فإن الراصد سوف يستقبلها على أنها (١٠,٢٣ ميجا هرتز) وهو ما يتوافق ويتطابق مع ذبذبات أجهزة الاستقبال.

الفصل الخامس

نظام تحديد الموقع الفرقى

DGPS

**Differential Global
Positioning System**

5- نظام تحديد المواقع الفرقى DGPS

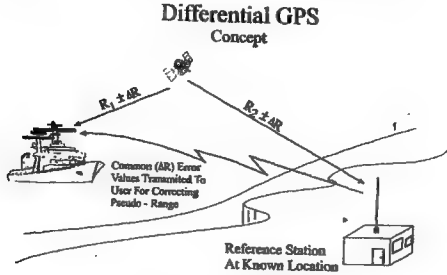
5-1 نظرية عمل النظام

رغم أن الدقة التي يحققها نظام GPS تستوفي المتطلبات العامة للملاحة البحرية في أعالي البحار وتطبيقاتها حيث كانت تبلغ في ظل وجود الخطأ المعتمد أو الإناحية المختارة S/A 100 متراً وتبلغ الآن ما يقارب العشرين متراً، إلا أنها لا تتوافق مع مستلزمات الدقة والاعتمادية لتطبيقات عديدة استجبت مثل أعمال المساحة البرية والبحرية وتحديد موقع الإنشاءات البحرية البعيدة عن الشواطئ والملاحة في فترات الاقتراب من الموانئ وفي المياه الضيقة والممرات البحرية بالإضافة إلى الملاحة الجوية وغيرها من الاستخدامات التي تتطلب دقة عالية، فتوصلت إلى استخدام النظام الفرقى DGPS والذي يتم بموجبه التغلب على أخطاء S/A في حالة وجودها والحد من الأخطاء التي يتعرض لها النظام الأساسي GPS وحده ليحصل على دقة تبلغ عدة أمتار أو أفضل.

وتقوم المؤسسات التي تعمل على إنشاء الأنظمة الفرقية وتزويدها بالاستخدام في المناطق الواسعة حتى يمكن أن يستخدمها عدد كبير من مستخدمي نظام GPS بدون الاعتماد على النظام الدقيق (P) ولكن باستخدام الكود العادي (C/A).

وتهدف فكرة DGPS إلى حذف معظم الأخطاء في الأقمار الصناعية والأخطاء الناشئة عن تأخير الأيونوسفير والمؤثرة بشكل غير مباشر على عملية القياسات.

وبوضح الشكل (5-1) نظرية عمل المحطات الفرقية.



شكل (١-٥): محطة نظام فرقى

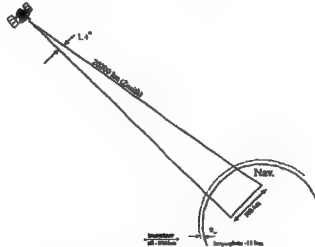
وتعتمد فكرة النظام الفرقى على إنشاء محطة مرجعية يستخدم فيها واحد أو أكثر من أجهزة الاستقبال لنظام GPS.

ويحدد موقع المحطة المرجعية أو محطة الإسناد بدقة عالية جداً وفقاً للأساس الجيوديسى الذى يعمل عليه نظام الأقمار وهي (WGS84)؛ وتقوم أجهزة الرصد فى محطة الإسناد المرجعية بمقارنة القياسات التى تحصل عليها من الأقمار الصناعية الموجودة فوق سماء المحطة مع الموقع الحقيقى المعروف بالمحطة وبالتالي فإن الفرق بين الموقع المرصود بواسطة أجهزة استقبال GPS والموقع الحقيقى هو الخطأ فى الموقع الناتج عن مجمل المؤثرات التى تؤثر على دقة القياس مثل أخطاء ساعات الأقمار المستخدمة وأخطاء المدار وتأخير طبقة الأيونوسفير والتروبوسفير بالإضافة إلى الأخطاء الموضعية الناشئة عن شوشرة أجهزة الاستقبال فى محطة الإسناد وأي أخطاء أو انحرافات ناتجة عن المسارات المتعددة التى قد تؤثر على استقبال أجهزة المحطة المرجعية.

وهكذا يكون لدى المحطة المرجعية قيمة فرقية بين الموقع الحقيقى والموقع المرصود يسمى بالخطأ الفرقى والذى يمكن للسفن والطائرات

والمستخدمين في نطاق التغطية وبالقرب من المحطة المرجعية استخدام هذه القيم لتصحيح القراءات التي يحصلون عليها من النظام الأساسي. وقد تستخدم طريقة أخرى لتحقيق نفس الغرض من النظام الفرعي المحلي تعتمد على أجهزة إرسال يتم تثبيتها في مواقع أرضية لنظام GPS تقوم بإرسال إشارات الأقمار الصناعية على نفس الترددات (L_1 , L_2). ويسمى هذا النوع من الإرسال بأشباه الأقمار (Pseudo Satellite) أو (Pseudolites) وهي بهذه الطريقة تعمل على إيجاد أقمار إضافية مكانها معروف بدقة وغير معرض لأخطاء وتأخير الغلاف الجوي أو المدار كما تعمل أيضاً على تحسين التوزيع الهندسي للأقمار (الدوب) وبالتالي الحصول على موقع دقيق. ويمكن أن تستخدم أشباه الأقمار في المطارات لمساعدة الطائرات عند الاقتراب من المدرجات وفي مداخل الموانئ البحرية والممرات الملاحية الضيقة.

ويوضح الشكل (٥-٢) هندسية مقدار الخطأ Geometry، فبالنسبة لأخطاء الساعات الذرية في القمر أو مدار القمر، فإن قيمة الخطأ تكون واحدة لكل من المحطة الفرعية والراصد حتى مسافة بينهما تصل إلى ٥٠٠ كم، أما تصحيح تأخير الأيونوسفير فإنه يكون مطابقاً تماماً بالقرب من المحطة المرجعية ويزداد بالبعد عنها.



شكل (٥-٢): Differential GPS Geometry

٢-٥ الموارد المعبدة لاستخدام التسميم الفرقى

هناك عاملان أساسيان أو شرطان أساسيان حتى يمكن للمستخدمين Users للنظام الفرقى من استخدام التصحيحات الفرقية للمحطة المرجعية:

الشرط الأول: أن يكون الراصد قد استخدم نفس الأقمار التى استخدمتها المحطة الفرقية حتى يمكن القول بأن أخطاء المدار وأخطاء الساعات الذرية الموجودة على متن الأقمار قد تم تصحيحها.

الشرط الثانى: أن يكون الراصد أقرب ما يمكن من المحطة الفرقية حتى تكون مؤثرات الطبقة الفرقية لها نفس القيمة على كل من المحطة المرجعية والراصد فى نفس الوقت، وبالمطبع إذا كان الراصد بعيد بعض الشيء عن المحطة المرجعية فإن ظروف التأمين ومسار الإشارات اللاسلكية الدوارة من الأقمار لكل من المحطة مختلفة عن تلك التى تصل إلى الراصد وبذلك فإن قيمة التصحيح لا تكون مطابقة على الراصد الذى يقع بعيداً عن محطة الإسناد أو المحطة الفرقية.

٣-٥ التصحيحات الفرقية

Position Correction

١-٣-٥ تصحيح المواقع

لتحديد الموقع سواء فى المحطة الفرقية أو للراصد (User) فإنه يلزم استخدام أربعة أقمار صناعية فى سماء الرصد فى آن واحد. وحيث أن عدد الأقمار المتاحة فى أي مكان يزيد عن أربعة أقمار وقد يصل إلى ٩ أقمار فى بعض الأماكن، فإذا كان لدينا هذا العدد من الأقمار، فإن احتمالات تحديد الموقع بواسطة أربع أقمار مختارة من تسع أقمار يكون عدداً كبيراً قد يصل إلى ٦٠ احتمال، فإذا كان لدينا خمسة أقمار فقط فوق سماء محطة الإسناد، فإن ذلك العدد من الأقمار يتبع خمسة احتمالات لرصد أربعة أقمار من خمسة وهكذا تزداد الاحتمالات بزيادة عدد الأقمار.

ومحطات الإسناد التى تعتمد على تصحيح الموقع (إحداثيات) خط عرض وخط طول وارتفاع يجب أن يكون لديها إمكانيات مميزة وكبيرة بحيث يمكنها رصد وتحديد الفرق الناشئ عن كل أربعة من مجموعات الأقمار الصناعية الموجودة وقت الرصد ويجب عليها عن طريق كود معين من بث وإرسال تصحيحات الأقمار الصناعية على النحو المبين على سبيل المثال:

الأقمار (١، ٢، ٣، ٤)	تصحيح رقم (١)	C ₁
الأقمار (٢، ٣، ٤، ٥)	تصحيح رقم (٢)	C ₂
الأقمار (٣، ٤، ٥، ٦)	تصحيح رقم (٣)	C ₃
الأقمار (٤، ٥، ٦، ٧)	تصحيح رقم (٤)	C ₄

وهكذا فقد يبلغ عدد هذه الاحتمالات إلى ستين احتمال وهذا يتوقف على عدد الأقمار المتواجدة والصاحبة للرصد فى مكان المحطة الفرقية ويتم إذاعة التصحيحات فى تتابع (C₁) ثم (C₂) ثم (C₃) وهكذا... وتستغرق إذاعة جميع التصحيحات فترة زمنية معينة.

وعلى الراصد سواء السفينة أو الطائرة أو المستخدم الذى يرغب فى تصحيح موقعه من انتقاء التصحيح المناسب وفقاً للأقمار التى يستخدمها جهاز الاستقبال فى السفينة، فإذا كان يستخدم الأقمار (المجموعة الأولى) عليه إضافة التصحيح الأول (C₁) وإذا كان يستخدم المجموعة الرابعة عبر الانتظار حتى أداء التصحيح الرابع (C₄).

٥-٣-٢ تصحيح المدى أو شبه المسافة Pseudo Range Correction

فى هذا الأسلوب من التصحيح تقوم المحطة المرجعية والتى نعلم موقعها تماماً وبدقة ونعلم إحداثياتها الفراغية (X_o, Y_o, Z_o) برصد الأقمار الواقعة فى سمائها، والعناصر الغير دقيقة أو الغير معلومة فى معادلة خط الموقع من كل قمر تكون إحداثيات القمر الصناعى فى مداره (X_o, Y_o, Z_o)، أما الإحداثيات المعلومة فى معادلة الموقع بند (٤-٢-٢) فهي (X_u, Y_u, Z_u) وحيث أن:

$$PR = \sqrt{(X_s - X_o)^2 + (Y_s - Y_o)^2 + (Z_s - Z_o)^2} + b$$

فإن العناصر الأربعة المجهولة هي إحداثيات القمر الصناعي $(X_{\alpha}, Y_{\alpha}, Z_{\alpha})$ بالإضافة إلى تأخير الوقت في طبقة الأيونوسفير.

وبالتالي يمكن للمحطة المرجعية معرفة المسافة الحقيقية للقمر الصناعي عن مركز الكتلة الأرضية (R_0) بالإضافة إلى الخطأ الناشئ عن تأخير طبقة الأيونوسفير.

وتقوم المحطة الفرعية بحساب المسافة الحقيقية للأقمار الواقعة في سماءها وتثبت هذه القيم للسفن والطائرات والمستخدمين بالقرب منها ويقوم الراصد الذي يرغب في تصحيح موقعه باستخدام الإحداثيات الحقيقية $(X_{\alpha}, Y_{\alpha}, Z_{\alpha})$ المداعة بواسطة المحطة الفرعية واستخدامها في معادلات حساب المواقع المرصودة بواسطة جهاز الاستقبال في مكانه فيتم التغلب تماماً على أخطاء مدارات الأقمار الصناعية وأخطاء ساعاتها الذرية بالإضافة إلى تصحيح تأخير الأيونوسفير والذي يكون مطابقاً تماماً إذا كان خط الأساس بين الراصد والمحطة المرجعية قصيراً وتقل الدقة أو يزداد الفرق كلما كان مكان الراصد بعيداً عن المحطة الفرعية وبذلك يكون عدد التصحيحات الواجب على المحطة الفرعية إذا عتھا لا يزيد عن عدد الأقمار الواقعة في سماءها وهي أفضل كثيراً من طريقة تصحيح الموقع الإجمالي.

وتتميز طريقة تصحيح المسافات بالآتي:

- أ- تقوم محطة الإسناد بإرسال تصحيحات جميع الأقمار الظاهرة وهذا يسمح للراصد المتحرك بالقرب من المحطة أن يختار مجموعة الأقمار التي تناسب مع موقعه.
- ب- يمكن استخدام أي نوع من أجهزة الاستقبال وليس بالضرورة أن يكون نفس النوع المستخدم في موقع المحطة الفرعية.
- ولكن من الضروري أن تكون أجهزة الاستقبال على السفن أو الطائرات مجهزة ببرامج استقبال وإزالة التصحيحات الفرعية.

4-6 بث التصحيحات الفرقية Transmission of DGPS Data Corrections

تقوم المحطات الفرقية بإرسال التصحيحات الفرقية للسفن والطائرات والمستخدمين بالقرب منها مستخدمة عدة تقنيات على ترددات الراديو Radio Link، ومما هو جدير بالذكر أن تأخير وصول الإشارات الحاملة للتصحيح الفرقي يتسبب في عدم دقة الرصد، فإشارة GPS تتميز بصفة مستمرة بتغير الظروف الجوية وعوامل أخرى منها تغير موقع الألفار الصناعية في مداراتها، فكلما زادت الفترة الزمنية بين رصد المحطة الفرقية للألفار وبين وصول التصحيح إلى السفينة أو الطائرة يزداد معامل الخطأ أو تقل درجة التصحيح.

وجميع أجهزة الاستقبال تحتاج إلى فترة من الزمن لحساب التصحيحات وفترة التأخير تسمى فترة الكمون Latency ويشتمل هذا الكمون على زمن إرسال التصحيح وهو على قدر كبير من الأهمية، وفي بعض المحطات الفرقية يتم الإرسال بمعدل ٥٠ بايت/ثانية بمعنى أنه يستغرق حوالي ١٠ ثواني حتى يمكن بث وإرسال التصحيح إلى المستخدم User لكل الألفار المتاحة، وترسل التصحيحات من المحطة الفرقية وفق نظام بروتوكول دولي Radio Technical Commission for Maritime Service (RTCM).

يتوقف نوع الإرسال والترددات المستخدمة في بث تصحيحات المحطات الفرقية على المستخدم أو الراصد، وعموماً فإن التصحيحات تكون صحيحة بدرجة عالية إذا كان الراصد قريباً من المحطة الفرقية وتقل الدقة إذا كان الراصد يقع بعيداً عن المحطة الفرقية، وعموماً فقد تستخدم التصحيحات الفرقية حتى مسافة (١٠٠-١٥٠) ميل، وقد كان مسموحاً لدى الراصد أن يقبل أخطاء تتراوح بين (٨-١٠) أمتار.

وتختلف الترددات المستخدمة في بث وإرسال التصحيحات وقد يصل مدى إرسال الترددات المتوسطة إلى حوالي ٢٥٠ ميل ولكن هذا المدى يتوقف على قدرة محطة الإرسال Transmission Power وتأثير طبقة الأيونوسفير ومحيط الشوشرة Ambient Noise حول المحطة الفرقية وجهاز الاستقبال وقدرة السطح على الامتصاص Surface Conductivity.

أولاً: الملاحة البحرية

تستخدم الترددات البحرية المتوسطة (MMF) في حدود تتراوح بين (٣٨٥-٣٢٠) كهرتز وتقوم المحطات الفرقية ببث إشاراتها وفقاً لتكود (RTCM) بواسطة أجهزة إرسال وهوائيات التردد البحري المتوسطة، ويستطيع الراصد البحري استقبال إشارات المحطات الفرقية بنفس جهاز الاستقبال GPS المعقد والمجهز لاستقبال التصحيحات الفرقية.

وتقوم هذه الأجهزة تلقائياً أو آلياً بتعديل الموقع وفقاً للتصحيحات التي تحصل عليها إذا كان الراصد واقعاً في محيط قطعية ومدى انتشار الموجات المتوسطة أي في حدود ١٠٠-١٥٠ ميل.

ثانياً: بالمحطة للطائرات

تستخدم الترددات العالية (VHF) والتعديل الترددي (FM) لقدرتها على الانتشار في خطوط مستقيمة وتصل إلى الطائرات التي تعمل على ارتفاعات كبيرة وتكون على خط النظر مع المحطات الفرقية الأرضية بصفة دورية على الكود الخاص بالطائرات (RCTA).

ويتم بث التصحيحات لكافة التطبيقات بسرعة عالية جداً تتراوح بين ٢-٣ م. ثانية وبنفس أساس الخريطة الذي يعمل عليه نظام GPS (WGS84).

٥-٥ الأخطاء التي يصنعها النظام الفرقي

يقوم النظام الفرقي بتصحيح معظم الأخطاء التي تؤثر على قياسات الموقع في نظام GPS على النحو التالي:

أ- أخطاء الساعات الذرية بالأقمار الصناعية:

يتم إذاً هذا الخطأ كلياً، وهذا الخطأ يكون أكبر ما يمكن عندما تزداد الفترة بين تحديد بيانات القمر Updating عند مروره فوق محطات المتابعة الأرضية وبين محطة رصد القمر.

ب- أخطاء المدار أو موقع القمر في مداره:
أيضاً يتم إداعة هذا الخطأ كليا وهو أيضاً يتناسب مع الفترة الزمنية بين الرصد وبين تحديد بيانات القمر عند مروره فوق محطات المتابعة الأرضية.

ج- خطأ تأثير طبقة الأيونوسفير:
إلى حد كبير جداً يتم تقليل قيمة هذا الخطأ وتكون التصحيحات أكثر دقة إذا كان الراصد يقع بالقرب من المحطة الفرقية ويزداد الخطأ أو تقل قيمة التصحيح إذا كان الراصد واقعاً في مكان بعيد عن المحطة الفرقية.

وبما أن الأقمار الصناعية تقع على ارتفاع كبير جداً (٢٠,٢٠٠ كم) مقارنة بالمسافة بين الراصد وبين المحطة الفرقية (٢٠٠ كم)، لذا فإن الإشارات التي تصل لكلا الجهازين تكون قد عبرت خلال نفس الشريحة الافتراضية من الغلاف الجوي وقابلت نفس التأخير وبذلك يصبح جهازي الاستقبال في المحطة الفرقية والراصد لهم نفس القيمة عن الأخطاء وتزداد قيمة الخطأ بزيادة البعد حيث يكون ارتفاع طبقة الأيونوسفير ودرجة التأين وزاوية مرور إشارات الأقمار الصناعية لدى الراصد مختلفة عنها لدى المحطة الفرقية.

د- أخطاء الإثابعية الاختيارية (SA):
رغم أن الخطأ المعتمد أو الإثابعية الاختيارية قد تم إلغاؤها في مايو عام ٢٠٠٠ وتم إدارتها إلى القيمة الصغرى، فإنه في حالة إعادة تشغيلها لأي سبب أو إدخال أخطاء أخرى فإن النظام الفرقى يكون قادراً تماماً على إزالتها بالكامل.

٦- الأخطاء التي لا يمكن إزالتها بواسطة النظام الفرقى

أولاً: أخطاء ومؤثرات لدى الراصد

أ- الأخطاء الناشئة عن تعدد المسار (Multi Path) والناشئة عن الإشارات المرتدة من بدن السفينة أو من الأهداف المحيطة أو السفن المتحركة بالقرب من الراصد أو من سطح البحر في

حالة وجود أمواج أو بحر مضطرب وهي من أهم الأخطاء وأكثرها شيوعاً ولا يمكن التنبؤ بقيمتها حيث أنها متغيرة وفقاً لمكان الراصد ومكان المقصودات المحيطة به.

ب- أخطاء الشوشرة (Noise)، وهذه قد تؤثر على أجهزة الاستقبال بالشوشرة وخاصة بالقرب من جهاز الاستقبال وتقل قيمة الشوشرة في أجهزة الاستقبال إذا كانت هذه الأجهزة مجهزة بواسطة مرشحات إلكترونية Kalman Filters.

ج- أخطاء التداخل (Interference): عندما يكون الراصد في مكان معرض للإشارات اللاسلكية التي تستخدم نفس إشارات الأقمار الصناعية (L1) أو إشارات قريبة التردد منها، فإن جهاز الاستقبال يتعرض للتداخل اللحظي أثناء استخدام هذه الترددات في غير أغراض الأقمار الصناعية؛ ومما هو جدير بالذكر أن هناك بعض الدول تستخدم شريحة الترددات (L1) في استخداماتها المحلية، وعلى ذلك إذا كانت السفينة أو الراصد يعمل بالقرب من محطات الإرسال الأرضية التي تستخدم (L1) فإن قياسات الموقع تكون معرضة لخطأ لا يمكن تصحيحه بواسطة النظام الفرقى.

د- أخطاء حركة السفينة (Ship's Motion): الموقع الذي تحصل عليه بواسطة الأقمار الصناعية هي النقطة التي ثبت بها هوائي جهاز الاستقبال. ونظراً لاحتلال حركة السفينة أثناء الدرفة العرضية والدرفة الطولية والحركة الرأسية Heaving Motion، فإن موقع تثبيت الهوائي يتغير ويتذبذب بمقدار درفة وحركة السفينة وبالتالي لا يمكن تصحيح هذا النوع من الأخطاء.

ثانياً، مؤثرات عامة بمواقع المخطئ الفرقية

تعرض محطة الإسناد أيضاً لأخطاء يصعب تصحيحها ومستقلة تماماً عن ظروف الراصد.

- أ- خطأ المسار المتعدد Multi Path: تتعرض المحطة المرجعية لإشارات مرتدة من أكثر من مسار وهي ناتجة عن الإنشاءات القريبة من المحطة أو من هوائيات مساعدة بالقرب منها وأقصى ما يمكن أن تفعله المحطة الفرقية هو اختيار مكان مناسب مرتفع عن سطح الأرض ويعيد عن احتمالات الانكسارات الخارجية لمسار الترددات.
- ب- تأثير الشوشرة Noise Effects: تتعرض أيضاً أجهزة الاستقبال بالمحطة الفرقية لخطأ الشوشرة إذا كانت الأجهزة المستخدمة ليست مزودة بالقدر والنسوع المناسب من المرشحات الإلكترونية (Filters).
- ج- تأثير التداخل: لقد تتعرض أيضاً أجهزة الاستقبال في المحطات المرجعية لنفس تأثير الإشارات اللاسلكية الخارجية والتي تعمل على التردد العالي (1-أ) والذي يستخدم نظام الأقمار الصناعية.

ثالثاً: تأثير التجهيم (DOP) أو التوزيع الهندسي للأقمار

يظل تأثير التوزيع الهندسي على دقة المواقع لكل من المحطة الفرقية والراصد على حد سواء بنفس القيم وبالتالي فإن النظام الفرقى لا يغير من موقع وتوزيع الأقمار الصناعية، ولإشارة تأثيرها سواء على المحطة الفرقية أو الراصد.

وبوضح الجدول (٦-١) قيمة الأخطاء المحتملة عند الرصد بواسطة نظام الإرسال GPS وبواسطة النظام الفرقى DGPS والذي يوضح الأخطاء التي يمكن تلاشيها وتلك التي تنخفض قيمتها بدرجة ملموسة.

جدول (٦-١): قيمة الأخطاء للنظام الأساسي والنظام الفرقى

النظام الفرقى DGPS	النظام الأساسي GPS	الدقة لكل قمر صناعى على حدة
صفر	٢,١ متر	ساعات القمر
صفر	٢,١ متر	أخطاء المدار
٠,٤ متر	٤ متر	تأثير طبقة الأيونوسفير
٠,٢ متر	٠,٧ متر	تأثير طبقة التروبوسفير
٠,٥ متر	٠,٥ متر	شوشرة جهاز الإرسال
١,٤ متر	١,٤ متر	تأثير المسار المتعدد

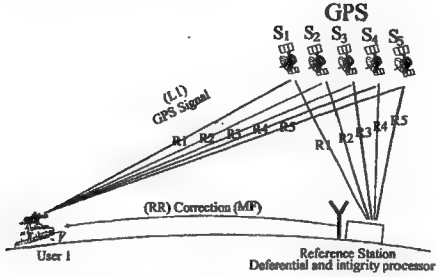
Local Area DGPS (LAD)

٧-٥ النظام الفرقى المحلى

فى هذا النظام تقوم المحطة الفرقية برصد الأقمار الصناعية فى مجال رؤيتها وإذا كان يوجد أكثر من محطة مرجعية، فإن كل منها يقوم برصد الأقمار الظاهرة لديها.

وعندما تعمل المحطات الفرقية بأساليب مستقلة عن بعضها البعض وتقوم كل محطة على حدة بإرسال تصحيحاتها مباشرة للسفينة والمستخدمين المحيطين فى منطقة التغطية، فإن النظام الفرقى يكون محلى (LAD) وعلى الراسد إذا وجد فى نقطة تغطية بين محطتين أو أكثر من المحطات الفرقية أن يختار المحطة المناسبة إما يدوياً باختياره للمحطة عن طريق تحديد التردد المتوسط المستخدم فى استقبال التصحيحات أو أتماتيكياً بواسطة جهاز الاستقبال الذى يمكنه البحث التلقائى عن المحطة الموجودة فى محيط التغطية.

ويوضح الشكل (٥-٣) النظام الفرقى المحلى والذى يعتمد على تصحيح الموقع بواسطة الأقمار التى تم استخدامها بواسطة المحطة الفرقية، ويتضح دور المحطة الفرقية فى إذاعة التصحيحات الفرقية مباشرة إلى السفن على التردد المتوسط.



شكل (٥-٣): المحطة الفرقية المحلية LADGPS

وهي تعمل على تصحيح الموقع ومتابعة صحة النظام

ويوجد العديد من المحطات الفرقية موزعة حول العالم في الولايات المتحدة وأوروبا واليابان وأستراليا والهند، أما على المستوى المحلي العربي فهوجد نظام فرقي في مصر والبحرين والإمارات وجارى تركيب محطات في السعودية لتغطية النصف الجنوبي من البحر الأحمر. وتتكون الشبكة المصرية من ستة محطات فرقية ثلاثة منها تغطي الساحل الشمالى والثلاثة الأخرى تغطي خليج السويس ومدخل العقبة وشمال البحر الأحمر. وقد أنشأت محطات الساحل الشمالى فى مرسى مطروح والإسكندرية وبورسعيد ومحطات البحر الأحمر فى رأس شارب وأم السيد والقصور.

ويوضح الجدول (٥-٢) أماكن وإحداثيات وترددات المحطات الفرقية التى تغطي الحدود المصرية لساحل البحر الأبيض المتوسط وساحل البحر الأحمر وخليج السويس.

جدول (٥-٢): مواقع وإحداثيات وترددات محطات DGPS في مصر

Broadcast Site	Freq. (KHz)	Baud. (BPS)	Latitude (N)	Latitude (S)	Status
Alexandria	284	200	31 10 00 N	29 50 00 E	Online, Test Mode
Marsa Matrouh	307	200	31 21 32 N	27 14 43 E	Online, Test Mode
Port Said	290	200	31 16 22 N	31 17 30 E	Online, Test Mode
Ras Um Sayed	293.5	200	27 51 00 N	34 18 52 E	Online, Test Mode
Ras Ghareb	298	200	28 21 00 N	33 06 00 E	Online, Test Mode
El Quseir	314.5	200	26 08 12 N	34 15 40 E	Online, Test Mode

Worldwide DGPS Service

٥-٨ النظام العالمي للأقمار

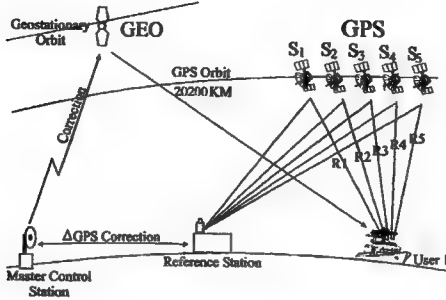
الفكرة الأساسية وراء نظام WADGPS هي إزالة أو حذف ما يسمى بعدم التناسب الفراغى الملازم لنظام DGPS والذي ينشأ عندما تزداد المسافة بين المستخدم ومحطة الإنسناد الرئيسية وينعدم على أثرها وصول إشارات المحطة الرئيسية إلى المستخدم حيث أن مدى إشارات محطات DGPS المحلية تكون فى حدود ٢٠٠ كم، وهنا تكمن ميزة خدمة WADGPS الذى يصل به إلى أغلب مناطق الكرة الأرضية وهي التغطية التى يصل إليها بث أقمار الاتصالات Geostationary Set والتي تبث من خلالها تصحيحات WADGPS. وتستخدم إشارات ذات ترددات عالية جداً (VHF) حيث يتم إرسال التصحيحات للأقمار الصناعية عبر محطات أرضية منتشرة حول العالم ومن ثم تبثها تلك الأقمار للمستخدمين.

ويتكون نظام WADGPS من الأقمار الصناعية GPS والمحطات الأرضية DGPS ومحطة تحكم رئيسية Master Control Station وأقمار الاتصالات بالإضافة إلى أجهزة استقبال GPS المزودة بالنظام الأرضى.

وتقوم المحطات المرجعية الأرضية والمنتشرة حول العالم ببث التصحيحات والبيانات والمشتتة على معلومات دقيقة على مدارات الأقمار Ephemeris عبر خطوط اتصالات سريعة Lease Line إلى المحطات الرئيسية وذلك

لفرض التدقيق ومن ثم إرسالها إلى أقمار الاتصالات Geostationary والتي تقوم بدورها ببثها لحظيا إلى المستخدم على التردد العالي، ويستقبل المستخدم هذه الإشارات عبر أجهزة استقبال خاصة وهي عديدة وتصنعها أيضا شركات عديدة وتقوم ببث خدمة التصحيحات الفرقية مقابل رسوم اشتراك أو استخدام؛ وتتميز هذه الخدمة بتوفير التصحيحات الفرقية (DGPS) بالإضافة إلى بيانات عن صحة النظام وصحة الأقمار الصناعية Integrity بصفة دورية لأي راصد مشترك في معظم أنحاء العالم، وأشهر هذه الأنظمة الواسعة هي النظام الأمريكي (WAAS) والنظام الياباني (MSAS) والنظام الأوروبي (Sky Fix) و (Star).

ويوضح الشكل (٥-٤) فكرة عمل النظام الفرقى الواسعة النطاق (WADGPS) والتي توضح أن أهم نقاط الاختلاف بينه وبين النظام المحلي هو أن التصحيحات الفرقية تصل إلى المستخدم (User) عن طريق الأقمار الصناعية الخاصة بالاتصالات، وقد تكون هذه الأقمار هي أقمار الاتصالات البحرية Inmarsat أو اتصالات خاصة أو أي أقمار من التي تستخدم في البث التلفزيوني وتكون واقعة على المدار الثابت Geostationary.



شكل (٤-٥): مبادئ النظام الفرقى الواسع WADGPS

٩-٥ تطبيقات النظام الفرقى

توجد تطبيقات عديدة للنظام الفرقى DGPS وإذا كانت كلها يمكنها الحصول على دقة عالية وأمنة من حيث صحة وانتظام عمل الأقمار الصناعية ورغم انتهاء العمل مؤقتاً بنظام الأخطاء المعتمدة (SA) إلا أن أخطاء الانكسار في طبقات الجوء المؤونة ما زالت تشكل مصدراً رئيسياً لانخفاض دقة النظام الأساسى GPS ويمكن إيجاز تطبيقات النظام الفرقى في الاستخدامات التالية.

أولاً: في مجال الملاحة البحرية

أفاد كثيراً النظام الفرقى في تعظيم الدقة في مجال الملاحة البحرية خاصة بالقرب من السواحل وعند الاقتراب من الممرات المائية وفي قنوات الاقتراب من الموانئ وفي القنوات الملاحية الضيقة فإن الدقة التى تصل إلى عدة أمتار (٢-٤ متر) تساعد كثيراً في تأمين حركة الملاحة في جميع الظروف. كما استفادت منه وحدات حرس

السواحل ومكافحة التلوث أو التهريب من البحر. كما يستخدم النظام الفرقى فى أعمال رصد ومراقبة المساعدات والعالمات الملاحية Monitoring ومراقبة موقعها للتحذير فى حالة إزاحتها من مكانها. كما استخدم النظام الفرقى بكفاءة عالية وبصورة متكاملة مع أنظمة التعرف الأتوماتيكى Automatic Identification Systems والتي تم تصميمها لتكون أنظمة إجبارية لمراقبة حركة المرور البحرى مع مراكز خدمة المرور (VTC) Vessel Traffic Service والتي بموجبها أصبح فى الإمكان التعرف على جميع السفن المجهزة بنظام (AIS) وموجودة عند مداخل الموانئ والممرات الملاحية وبالقرب من مراكز خدمات المرور البحرى. كما أفاد النظام الفرقى فى أعمال رسم الخرائط البحرية بعد أن أصبحت مواقع العلامات الإرشادية أكثر دقة وخطوط الساحل أكثر تحديداً وأمكن رسم كتسورات الأعماق وتحديد طوبوغرافية القاع بفاصل لم يكن من الممكن تحديدها بدون نظام دقيق لتحديد المواقع من النظام الفرقى.

ثانياً: فو مجال الملاحة الجوية

بالإضافة إلى أن النظام الفرقى يوفر دقة عالية للمستخدمين فى محيط وبالقرب من المحطات الفرقية إلا أنه يوفر خدمة هامة خاصة للطيران وهي تأكيد صحة النظام الأساسى (Integrity) حيث تتمكن المحطات الفرقية من اكتشاف أي عطل أو عدم انتظام للبيانات التي ترسلها الأقمار الصناعية ويمكنها التحذير المباشر للمستخدمين أو التدخل لاسلكياً لحجب بيانات الأقمار ائثير سليمة من الاستخدام فى الطيران، وبذلك فإن النظام الفرقى يوفر دقة واعتمادية عالية للطيران فى مراحل الاقتراب (CATI) من المهبط والاستثناء عن الأنظمة التقليدية المكلفة فى الهبوط مثل (ILS) International Landing System وخاصة فى حالة انخفاض الرؤية.

كما يمكن بمساعدة النظام الفرقى للطيران جدولة حركة الطائرات
Air Traffic بتزويد الطائرات بواسطة أنظمة التعرف الآلية (AIS).

ثالثاً: الاستخدامات العلمية

أولى الاستخدامات العلمية للنظام الفرقى هو الاستخدام فى أغراض
المسح البحرى والهيدروجرافى وسواء كان النظام الفرقى DGPS
نظام المحطات التابعة أو المحطات المتحركة DGPS Mobile
والتي تستخدم فى مسح خطوط الساحل والأماكن القريبة وعلى
خطوط أساس قصيرة بين أجهزة الرصد المرجعية وأجهزة الرصد
المتحركة كما استخدم فى تحديد الموقع الدقيق للأخطار الملاحية
تحت سطح الماء وتحديد الأجسام القادمة والتي تشكل خطراً على
الملاحة. كما أن النظام الفرقى قد أفاد كثيراً فى تحديد أماكن
منصات البترول والخطارات ومد خطوط البترول على قاع البحر ومد
خطوط وكابلات الاتصالات البحرية وفى أعمال علوم البحار
الفيزيائية Physical Oceanography؛ فقد أفاد النظام الفرقى فى
تحديد موقع العالقات المستخدمة فى رصد حالة البحار والأمواج
ودرجات الحرارة وقياس التيارات البحرية وبيانات الحركة الرأسية
لمستوى سطح البحر سواء المدينة منها أو المناخية ولهذا فإن
استخدام النظام الفرقى قد فتح آفاق متجددة فى المجالات العلمية
بالإضافة إلى مساهمة النظام الفرقى كنظام متكامل مع أنظمة
المعلومات الجغرافية Geographical Information System
(GIS). كما استخدم النظام الفرقى فى أعمال مسح الطرق والمدن
وتحديد محاور الكبارى وما إلى ذلك من أعمال الهندسة المدنية
التي تتطلب دقة عالية فأصبح فى الإمكان توفير هذه الدقة مع سرعة
كبيرة جداً فى رصد البيانات وتحليلها وفى مجال حماية البيئة
البحرية أصبح من الممكن تتبع ورصد حركة البقع الزيتية أو
الملوثات البحرية وتقليل مدة الاستجابة Response للكوارث
البحرية.

الفصل السادس

أنظمة الملاحة بالأقمار الصناعية

الروسية والأوروبية

Navigation Systems Using Russian and European Satellites

٦- أنظمة الملاحة بالأقمار الصناعية الروسية والأوروبية (بخلاف جي بي أس)

٦-١ نظام الأقمار الصناعية الروسي

Global Navigation Satellite System (GLONASS)

بدأ الإعداد لهذا النظام منذ عام ١٩٧٠ وتم الإعلان عنه رسمياً عام ١٩٨٢ حيث تم إطلاق أول أقمار هذه المجموعة من قاعدة تايترام (Tyuratam) بوسط آسيا.

يعتمد نظام جلوناس الروسي على الإرسال المستمر لإشارة مشفرة على ترددتين أساسيين يمكن استقبالهما من أي مكان على سطح الأرض لتحديد الموقع والوقت والسرعة وهو يعتمد على قياس المسافات تماماً كما هو الحال في النظام الأمريكي جي بي أس.

٦-٢ المجموعة الفضائية

Space Segment

أطلقت الأقمار الصناعية الروسية في مجموعات ثلاثية بواسطة الصاروخ بورتون Porton من قاعدة الإطلاق تايترام بوسط آسيا، وتتكون المجموعة الفضائية من ٢٤ قمراً وتميز بأرقام تعتمد على رقم المدار ورقم القمر، فمجموعة الأقمار يتم نشرها في ثلاث مدارات بكل منها ٨ أقمار بالمدار الأول يحتوي على الأقمار من (١-٨) والمدار الثاني (٩-١٦) والمدار الثالث (١٧-٢٤) وتبعد المدارات الفضائية عن بعضها بمقدار ١٢٠° أما تباعد الأقمار داخل كل مدار فيصل إلى ٤٥°.

حتى سنة ١٩٩٦ وصل عدد الأقمار التي تم وضعها في مداراتها ١٢ قمراً فقط في مدارات دائرية تقريباً على ارتفاع يصل إلى حوالي ١٩١٠٠ كيلو متراً وتمثل على مستوى خط الاستواء بمقدار ٦٤,٨° وفترة دوران كل منها حوالي ١١ ساعة و١٥ دقيقة و٤٤ ثانية وتكرر دورة المسارات كل ١٧ دورة كاملة.

أما محطات المتابعة الأرضية لهذا النظام فإنها تتوزع على الأراضي الروسية بحيث يمكنها رصد كل تردده على الأقل كل دورة وتتركز المحطات

الرئيسية للمتابعة في كل من يترسبرج، تريبول، رانيسك، كوموسكيو وأمور.

ويشتمل المدار الأول حالياً على ثلاث أقمار فقط هي (١٤،٣) أما المدار الثاني فبنا ٦ أقمار هي (١٦،١٥،١٣،١١،١٠،٩) أما المدار الأخير فيه أربعة أقمار فقط هي (٢٥،٢٠،١٨،١٧).

٢-١-٦ الترددات GLONASS Frequencies

تقوم الأقمار الصناعية في نظام جلوناس بإرسال إشاراتها بصفة مستمرة على ترددين على النفاذة العالية والسبب في إرسال ترددات بصفة مستمرة بحيث تتمكن من تصحيح تأخير طبقة الأيونوسفير في حسابات تحديد الموقع.

التردد الأول (L_1) ومقداره ١٦٠٢ ميجاهرتز

$$(L_1) = f_0 + I(fg) \quad \text{حيث } (f_0) = (١٦٠٢ \text{ م.هـ.})، (I = -1 - 2)$$

$$(fg) = 0.5625 \text{ MHz}$$

والتردد الثاني (L_2) ومقداره ١٢٤٦

وتبلغ النسبة بين التردد الأول إلى الثاني ($L_1/L_2 = 3/2$)
كما يستخدم النظام شفرتين (كود) الأول يسمى الكود الواضح (C/A) ويسمى (PRSA) في جلوناس وطول الموجة به مقداره ٥٨٦,٢ متراً والكود الثاني ويسمى الكود الدقيق وطول موجته مقدارها ٥٨,٦٨ متراً أي أن طول الموجة في الكود العادي مقداره عشرة أضعاف طول الموجة في الكود الدقيق تماماً مثل أطوال الكود المستخدم في النظام الأمريكي (جى بى أس).

ويتميز نظام جلوناس منذ البداية بعدم وجود أخطاء معتمدة (SA) كما كان في نظام جى بى أس. كما أنه يتيح استخدام ترددين (L_1)، (L_2) في نفس الوقت وذلك لمعادلة تأثير تأخير طبقة الأيونوسفير.

٦-١-٣ الدقة

Accuracy

نظام جلوناس متاح للاستخدام التجارى للملاحة البحرية والملاحة الجوية ولتحديد الموقع فى الاستخدامات العلمية الأخرى وتقارب كل من الدقة فى نظام جلوناس مع دقة نظام جى بى أس حيث أن معظم المؤثرات التى تؤثر على نظام جى بى أس هي نفسها التى تؤثر على دقة الموقع فى جلوناس غير أن جلوناس قد يغير بعض الشيء فى عدم وجود إمكانية الخطأ المتعمد (SA) كما أن طول المستخدمة أقصر من طول الموجة فى نظام جى بى أس حيث تبلغ حوالي ١٦ سم وبذلك فإن الدقة خاصة فى تحديد الموقع الثابت أقصر من نظام جى بى أس.

٦-٢ النظام الأوروبي للأقمار الصناعية (إيغنوس)

European Geostationary Navigation Overlay System (EGNOS)
من الواضح أن أنظمة الملاحة بالأقمار الصناعية فى مطلع الألفية هي أنظمة عسكرية سواء النظام الأمريكى GPS أو النظام الروسى GLONASS وكلاهما يخضع للإدارة العسكرية فى كلا الدولتين مما جعل الدور السياسى والاستراتيجى لأوروبا وعلى الأخص الاتحاد الأوروبى الذى يضم ١٣ دولة يتراجع كثيراً مما جعل الاتحاد الأوروبى يفكر ملياً فى إنشاء نظام خاص به يمكن الاعتماد عليه فى التطبيقات الحيوية للدول الأوروبية.

إلا أن الجانب الاقتصادى لإنشاء نظام مستقبل كان له بريقاً شديداً حيث أن الطلب على خدمة تحديد الموقع بالأقمار الصناعية طلياً عالياً وغير مرن مما ساعد أوروبا على اتخاذ قرارها فى إنشاء منظومة أقمار صناعية خاصة بها تمتلكه وتديره إدارة مدنية ويحقق لها استقلالية القرار السياسى والاستراتيجى ويعمل على فتح أسواق للعمل لآلاف من الأوروبيين بالإضافة إلى تحقيق عوائد مالية ناتجة عن ضرائب المبيعات وتكلفة الخدمات النوعية الخاصة.

وانتهجت أوروبا خطة فى تطوير نظام للملاحة عن طريق منظومة أساسية للأقمار الصناعية (GNSS) Global Navigation Satellite System.

والمرحلة الأولى فى (GNSS) هي إنشاء منظومة EGNOS ثم يليها نظام جاليليو فى الفترة بين (٢٠٠٥ إلى ٢٠٠٨) والذى يغطى القارة الأوروبية

مثل النظام الترقى الذى يغطى أمريكا فقط (WAAS) أو النظام الفرقى اليابانى الواسع النطاق (MCAS) .

٦-٢-١ مكونات نظام EGNOS

نظام إجنوس هو نظام لإدارة خدمات مميزة للأنظمة الأساسية المتاحة فى فترة الإنشاء من (٢٠٠٠ إلى ٢٠٠٢) وهو النظام الأمريكى والنظام الروسى .

أولاً: المجموعة الفضائية Space Segment

تتكون المجموعة الفضائية لنظام إجنوس من الأقمار الصناعية المتاحة وذلك بتأجير أو استخدام كل من النظام الأمريكى الذى يتكون من ٢٤ قمراً بالإضافة الى المتاح حالياً من أقمار صناعية فى النظام الروسى وهو حوالى ١٤ قمراً، أى أن نظام إجنوس قد عمل على زيادة عدد الأقمار المستخدمة فى آن واحد من ٢٤ قمراً فى النظام (جى بى أس) إلى حوالى ٣٨ قمراً فى النظام المشترك وهذا بالطبع يساعد على تحسين الإتاحة Availability ومنها تحسين مستوى الدقة الناشئة عن التوزيع الهندسى للأقمار الصناعية (DOP).

ثانياً: مجموعة المحطات الأرضية

يعمل نظام إجنوس على توفير معلومات خاصة بآثار تأخير إشارات الأقمار الصناعية فى طبقة الأيونوسفير وبذلك فإنه يعتمد على تجميع وتحليل البيانات التى يحصل عليها من المحطات العديدة التى تنتشر فى كل من أوروبا وأفريقيا وبعض الأجزاء القريبة من آسيا. وهو بذلك يعمل كنظام فرقى واسع النطاق Wide Area Differential System (WAD).

وتقوم المحطات الرئيسية فى بعض المناطق الجغرافية بتجميع البيانات من المحطات الفرعية الفرعية ومنها الى المستخدمين سواء للملاحة البحرية أو الجوية أو المرور البرى عن طريق أقمار الاتصالات البحرية Inmarsat التى تغطى القارة الأوروبية وهي القمر

الشرقي بالمحيط الأطلسي (AOE) والقمر الذي يغطي المحيط الهندي (IO).

ثالثاً، مجموعة أقمار الاتصالات (Inmarsat)

يستخدم نظام إجنوس قمريين من مجموعة أقمار إنمارسات وهي الأقمار التي تغطي أوروبا؛ (AOE) و (IO) وأقمار الاتصالات تختلف عن أقمار الملاحة حيث أن ارتفاعها كبير جداً ويصل إلى ٣٦٤٠٠ كم وتكون متطابقة على مستوى خط الاستواء والذي بها أقمار ثابتة نسبياً بالنسبة لحركة الأرض وتستخدم هذه الأقمار في استخدامين أساسيين هما:

- أ- تستخدم كمحطات لبث التصحيحات مباشرة إلى أجهزة الاستقبال بنظام إجنوس للتصحيح الفوري وفقاً لمواقع الراصد على ترددات عالية جداً وأنية في نفس الوقت.
- ب- تستخدم أقمار الاتصالات في بث التحذيرات بطريقة مباشرة إلى المستخدمين لهذا النظام في حالة عطل أي من الأقمار الصناعية وذلك في فترة وجيزة لا تتعدى ٥,٦ ميكروثانية وفقاً لمتطلبات المنظمة الدولية للطيران المدني (ICAO) وهو ما يعرف بصحة وشمولية النظام (Integrity).
- ج- تستخدم هذه الأقمار بعد تزويدها بأجهزة إرسال نظام جي بي أس كالأقمار الصناعية خاصة بنظام (جي بي أس) وبذلك فإن عدد الأقمار بنظام (جي بي أس) قد زاد بمقدار (قمريين) في مدارات تختلف عن مدارات المجموعة الأساسية لنظام (جي بي أس). ويجب ملاحظة أن مرسلات (جي بي أس) التي تثبت على أقمار الاتصالات البحرية الثابتة سوف يعمل على توفير إشارات هذه الأقمار كمرسلات جي بي أس بصفة دائمة للمستخدمين في القارة الأوروبية وبالطبع أيضاً على القارة الأفريقية وهو إرسال مستمر حيث أن أقمار الاتصالات

Geostationary تدور في مداراتها بنفس السرعة الذاتية مثل سرعة دوران الأرض.

وينتج عن هذا زيادة عدد الأقمار المتاحة للرصد بمقدار قمرين بالإضافة إلى كل من أقمار جي بي أس التي يمكن رصدها في أي وقت فوق أوروبا وأقمار جلوناس الروسية؛ وهكذا فإن هذه المنظومة تتيح للرصد في أي مكان في أوروبا وجود ما يقرب من ٣٦ قمراً تختار منهم أجهزة الاستقبال أفضل أربعة أقمار والتي توفر توزيع هندسي (DOP) منخفض جداً للحصول على الموقع الدقيق.

٦-٣ نظام الملاحة الأوروبي جاليليو Galileo

يعمل الاتحاد الأوروبي بالمشاركة مع وكالة الفضاء الأوروبية (ESA) على إنشاء نظام ملاحة أوروبي باستخدام الأقمار الصناعية الفضائية مماثلًا ومشابهًا لنظام الملاحة جي بي أس. ويمثل نظام جاليليو المرحلة الثانية في منظومة الأقمار الصناعية الأوروبية بعد النظام (GNSS) أو (EGNOS): European Geostationary Navigation Overlay Service ويتكون نظام جاليليو بعد الانتهاء من إنشاؤه من عدد من الأقمار الصناعية يتراوح عددها بين ٣٠، ٣٦ قمراً ملاحياً وتدور في مدارات متوسطة (MEO) حول الأرض على ارتفاع يبلغ حوالي ٢٣ ألف كم بالإضافة إلى ثلاثة أقمار ثابتة (Geostationary) على ارتفاع ٣٦٤٠٠ كم لإذاعة التصحيحات ومتابعة أداء النظام (Integrity).

ويشتمل النظام أيضاً على محطات للمتابعة والمراقبة موزعة حول الأرض وسوف ترسل بيانات عن صحة النظام وصحة أداؤه (Integrity). وعندما يكتمل النظام سوف يعمل على منافسة نظام جي بي أس في دقة الموقع الذي يوفره حيث من المنتظر أن تكون الدقة في حدود عدة أمتار نظراً لأن النظام سوف يعمل على ترددين في آن واحد. كما أن النظام سوف يقدم ثلاث مستويات من الخدمة:

الأولى: وهي خدمة لتحديد الموقع لأغراض الملاحة وستكون متاحة ومجانية لجميع المستخدمين.

الثانية: الخدمة المحكومة (CAS) Control Access Service، وهذه الخدمة سوف تقدم بمقابل اشتراك مع ضمان الإتاحة Availability والمسئولية عن صحة الموقع الذي يحصل عليه المستخدم.

الثالثة: تخصيص إشارة عالية الدقة لاستخدام السلطات والمؤسسات العلمية والعامة فى مجالات الأمن والسلامة والتطبيقات الحرجة مثل الطيران المدني.

ومن المنتظر أن تحصل هذه المميزات الإضافية فى نظام جاليليو أداؤه متميزاً وتضمن الخدمة وتنظيم قواعد المسئولية وإدارة المشروع المدنية سوف تضاعف من الطلب على استخدام هذا النظام.

٦-٣-١ تطبيقات نظام جاليليو

بقراءة حجم الطلب الحالى على خدمة تحديد الموقع باستخدام الأقمار الصناعية نجد أنه حجم كبير وضخم ليس فقط بالنسبة لعدد أجهزة الاستقبال المتداولة ولكن أيضاً فى تنوع الخدمة. ويقدر سوق المبيعات لأجهزة الاستقبال لتحديد الموقع بالأقمار الصناعية فى أوروبا وحدها فى الفترة من ٢٠٠٥ الى ٢٠٢٥ بما يعادل ٨٨ مليون يورو أما الطلب على الخدمات النوعية لنفس الفترة فإنه يقدر بما يعادل ١,٢ مليون يورو هذا بالإضافة الى ما يمكن أن تصدره أوروبا من أجهزة استقبال وتأجير للخدمة النوعية.

ومن المتوقع أن تضاعف الأرقام المذكورة لهذا الاتجاه. وسوف تشمل تطبيقات الملاحة بنظام جاليليو كل من أعمال الملاحة البحرية والملاحة الجوية بالإضافة الى تنظيم حركة المرور البرى فى المدن وعلى شبكات الطرق الرئيسية فى مدن أوروبا (ITS) Intelligent Transport System حيث يتلقى قادة السيارات والحالات بيانات متجددة عن موقع السيارة بالنسبة للخريطة التى تحدد شبكة الطرق المستخدمة مع بيان متجدد عن حالة المرور والطقس وتحذيرات الأعطال ودرجة التحكم فى سرعة المرور . بما يجعل التحكم فى مرور السيارات على الطرق أمراً أكثر أماناً لمستخدمي أجهزة الاستقبال بالأقمار الصناعية مع نظام النقل الذكى (ITS).

وكذلك بالنسبة إلى شبكات السكك الحديدية بالإضافة إلى الخدمات النوعية في أعمال المساحة ونظم المعلومات الجغرافية. أما استخدام نظام جاليليو مع الطيران المدني فإنه بلا شك سيكون له دور رئيسي حتى في المستوى الأول للطيران (CAT-1) أثناء هبوط ومقادرة الطائرات للمدارج الخاصة بها حيث تتطلب دقة عالية جداً وكفاءة (Integrity) لا تتعدى ٥,٦ ثانية للتبليغ عن أي انحرافات في بيانات الأقمار الصناعية.

٦-٣-٢ تكلفة وتمويل مشروع جاليليو

تتوقف تكلفة النظام على عدد وخصائص المجموعة الفضائية المرجح أن تكون بين ٣٠،٢٤ قمراً تدور في مدارات متوسطة الارتفاع (MEO) ومن المنتظر أن تتراوح التكلفة بين ٢,٢ و٢ بلايوني يورو خلال الفترة من (٢٠٠٠ إلى ٢٠٠٨) كما أنها أيضاً ستتوقف على مدى التعاون بين إدارة النظام (جى بى أس) وجاليليو في استخدام محطات المتابعة الأرضية. ومن المنتظر أن يقوم الاتحاد الأوروبي بتمويل المشروع من برنامج النقل الأوروبي أما إيرادات المشروع فسوف يعتمد على ضرائب المبيعات وقيمة الاشتراكات في الخدمة النوعية.

٦-٣-٣ مراحل تشغيل نظام جاليليو

من المخطط أن يتم إنشاء النظام على ثلاث مراحل باشتراك كل من الاتحاد الأوروبي والمساهمين في المشروع.

المرحلة الأولى: وهي مرحلة التطوير ووضع بعض الأقمار في مداراتها واختبار صحة النظام وتطلب ٢,١ بلايوني يورو ويمولها كل من الاتحاد الأوروبي ووكالة الفضاء الأوروبية (ESA).

المرحلة الثانية: استكمال المجموعة الفضائية وتطلب حوالي ٢,١ بلايوني يورو ويتم خلالها وضع جميع الأقمار في مداراتها وإنشاء محطات المتابعة الأرضية والمحطات الفرعية وتنتهي هذه المرحلة عام ٢٠٠٨.

المرحلة الثالثة: هي مرحلة التشغيل وتولاها كل من الشركتين العملاقتين
راكال والكاتيل بالإضافة الى وكالة الفضاء الأوروبية
لإنتاج أجهزة الاستقبال وتوفير الخدمة وتأجير الخدمات
النوعية المتخصصة للنظام.

الفصل السابع

منظومة لوران-سى

LORAN-C System

٧- منظومة لوران-سى LORAN-C System

٧-١- تمهيد

نظام لوران-سى هو نظام للملاحة البعيدة والمتوسطة المدى يعتمد كغيره من أنظمة الملاحة على استخدام الموجات الكهرومغناطيسية وعلى انتظام ومعرفة سرعة انتشار الموجات اللاسلكية وهو أحد الأنظمة العديدة التى تستخدم نظرية الهيبربول.

ونظام لوران-سى يمكننا من معرفة موقع السفينة باستخدام خطوط ومنحنيات الهيبربول كخطوط للموقع، ويتم تحديد هذه المنحنيات بقياس فرق الوقت بين وصول إشارتين على شكل نبضات قصيرة من محطات للإرسال فى نظام لوران ويكون المجال الهندسى للأماكن التى لها نفس فرق الوقت هو خط الموقع فى صورة منحنى هيبربولا.

ويأتى نظام لوران-سى فى سلسلة أنظمة لوران التى بدأت بنظام لوران-A والتى تعتمد أيضا على قياس فرق الوقت بين وصول إشارات من محطتي إرسال على شكل نبضة أحادية. وقد أحل نظام لوران-سى جميع الأنظمة من نفس النوع. ويتميز عن الأنواع السابقة له بأنه يصدر إشارة مكونة من مجموعة نبضات تحتوى على طاقة أكبر وبذلك فإنه يحقق مدى ملاحى أكبر من غيره. ويغطي معظم سواحل شرق الولايات المتحدة وغرب البحر الأبيض المتوسط وجزء كبير من غرب الياسفيك.

والنظام يغطى منطقة كبيرة تصل الى مسافة ١٢٠٠ ميل بحرى أثناء النهار- وحوالى ١٤٠٠ ميلا عند استخدام الموجات الأرضية ويزداد هذا المدى الى ٢٤٠٠ ميل عند استخدام الموجات السماوية ويمكن استخدام هذا النظام تحت مختلف الظروف الجوية ويستخدم للملاحة البحرية والجوية على السواء.

٣-٧ شبكات نظام لوران

تعمل محطات الإرسال في نظام لوران-سى فى شبكات تبث إشاراتها فى توافق زمنى دقيق ويستخدم معدل تكرار نبضى واحد، ويحدد الشكل الهندسى لنظام لوران-سى بحيث يوفر دقة عالية فى المناطق التى تتطلب مثل هذه الدقة مثل مناطق زيادة كثافة المرور البحرى أو عند الاقتراب من السواحل Land-Fall. ويمكن الحصول على دقة عالية من هذا النظام فى تحديد موقع السفينة إذا كانت خطوط ومنحنيات الموقع الناتجة من توزيع المحطات تقاطع بزوايا تتراوح بين ٩٠°، ٢٥°. وطول خط الأساس أو خط القاعدة الذى يصل بين المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية كبير ويتراوح بين ١٠٠ و ٦٠٠ ميل - وكلما زادت المسافة بين المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية كلما نتجت خطوط الهيبربولا بينهما على شكل خطوط متوازية تقريباً ويقل مقدار الانحناء بها.

كما يقل معامل التوسع الحارات Lane Expansion بين منحنيات الهيبربولا كما أنه يعطى قطعية أكبر وعموماً فإن شبكة لوران-سى تتكون من محطة رئيسية وثلاث أو أربع محطات فرعية تأخذ الرموز S1, S2, S3 أو Z, W, Y, X.

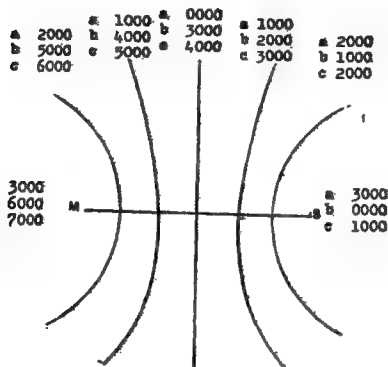
٣-٧ نظام الإرسال

Transmission

تقوم المحطة الرئيسية بإصدار إشارات على ترددات منخفضة مقدارها ١٠٠ كيلوهرتز مكونة من ٩ نبضات الفترة الزمنية لكل نبضة ٢٥٠ ميكرو ثانية والفترة الزمنية بين بداية كل نبضة والثالثة لها ١٠٠٠ ميكرو ثانية أما الفترة الزمنية بين النبضة الثامنة والنبضة التاسعة فهي ٢٠٠٠ ميكرو ثانية وتقوم المحطات الفرعية التى تعمل مع المحطة الرئيسية فى نفس الشبكة بإصدار إشاراتها المكونة من لثمانى نبضات فى توافق زمنى دقيق مع المحطة الرئيسية وطبقاً لنظرية الهيبربولا، فإن فرق الوقت الثابت بين وصول إشارتي المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية يرسم منحنى هيبربولا يسمى خط الموقع Line-of-Position (LOP).

فإذا قامت المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية بإصدار إشارتهما في آن واحد فإن تلك الإشارات سوف تصل الى راصد يقع على الخط المركزى المنصف لخط الأساس في آن واحد. ويكون فرق الوقت بين وصول هذه الإشارات مساوياً صفراً. وإذا تحرك الراصد الذى يقيس فرق الوقت من الخط المنصف المركزى فى اتجاه المحطة الرئيسية أو المحطة الفرعية فإن فرق الوقت سوف يزداد ويتكون على كلا جانبي الخط المركزى وبذلك يكون هناك غموض فى معرفة مكان الراصد الصحيح على كلا جانبي هذا الخط. وللتغلب على الغموض الذى ينشأ من تساوى فراءات فرق الوقت على كلا جانبي الخط المنصف فقد صممت المحطة الفرعية بحيث تصدر إشاراتها بعد وصول إشارة المحطة الرئيسية لها أولاً أى أن يكون تأخير الإرسال عندها مساوياً لطول خط الأساس.

وحيث أن سرعة انتشار الموجات اللاسلكية ثابتة تقريباً وهى تساوى 3×10^8 متر/ثانية أو تساوى 300 متر/ميكروثانية فإن وحدات المسافة فى نظام لوران يمكن التعبير عنها دائماً بوحدات الزمن - فمثلاً إذا كانت المسافة بين المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية 900 كم، فإنه يمكن التعبير عنها بوحدات الزمن فتكون 3000 ميكروثانية فإذا تصورنا وجود محطتي الإرسال M/S تفصل بينهما مسافة تعادل 3000 ميكروثانية وإذا كانت كلا المحطتين تبثان إشارتهما على شكل نبضة قصيرة فى آن واحد فإن الراصد الذى يتواجد على الخط المنصف بين المحطتين سوف يقيس فرق زمن مقداره صفراً، شكل (١-٧).



شكل (٧-١): فرق الوقت بين المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية

وإذا تحرك الراصد في اتجاه المحطة الفرعية (S) أو المحطة الرئيسية (M) فإن فرق الوقت بين وصول الإشارتين يزداد حتى يصل إلى ١٠٠٠ ميكروثانية عند الخط الذي يمر بكل من النقطة P,P ويلاحظ أن فرق الوقت عند هذه النقطة يساوي ضعف الوقت الذي يعادل المسافة بين هذه النقطة والخط المنصف وهذا أيضا مساوي لتأثير الهيبربول.

وفي هذه الطريقة حيث توجد صعوبة في تميز خطوط الموقع على كلا جانبي الخط المنصف حيث أن خطوط الموقع سوف يعبر عنها بمقدار فرق الوقت سوف تزداد من صفر عند الخط المنصف إلى أقصى قيمة لها عند المحطة الفرعية أو المحطة الرئيسية وتوضح قراءات فرق الوقت التي يسجلها حرف (B) الإرسال الآتي لكل من المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية.

وللتغلب على القموض في تميز خطوط الموقع في المنطقة الوسطى وعلى جانبي الخط المنصف فقد تم تشغيل محطات الإرسال بحيث تقوم المحطة

الفرعية بإطلاق إشاراتها بعد وصول إشارة المحطة الرئيسية لها بفترة تأخير للوقت تعادل طول خط الأساس. وبذلك فإن الراصد الذي يتواجد في أي مكان على خط الأساس سوف تمله إشارة المحطة الرئيسية قبل وصول المحطة الفرعية.

وإذا تحرك الراصد من مكان المحطة الفرعية ومتحركة في اتجاه المحطة الرئيسية على خط الأساس فإن فرق الوقت بين وصول إشارتي محطتي الإرسال ستكون صفراً عند المحطة الفرعية وتزداد إلى أقصى قيمة لها عند المحطة الرئيسية وتعادل في هذه الحالة ضعف طول خط الأساس وهو ما تعبر عنه القراءات التي يسبقها حرف (b) في الشكل (٧-١) غير أنه في هذه الحالة يصعب تمييز خطوط الموقع التي تقع بالقرب من المحطة الفرعية حتى مسافات تصل إلى نصف فترة إشارة المحطة الرئيسية حيث لا يمكن قياس فرق الوقت خلالها لذلك فقد استخدم نظام تأخير الوقت (td) والذي بموجبه تقوم المحطة الفرعية بإرسال إشاراتها بعد استقبالها لإشارة المحطة الرئيسية بفترة زمنية تزيد عن مقدار فترة الإرسال وتسمى تأخير الوقت (td) وبذلك تضمن قياس فرق الوقت وتحديد خط الموقع في أي مكان في منطقة التغطية وتعتبر القراءات التي يسبقها حرف (c) عن فرق الوقت بعد إدخال نظام التأخير ويكون فرق الوقت عند موقع المحطة الفرعية مساوياً لتأخير الوقت.

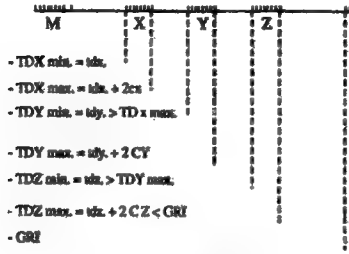
وحيث أن كل من تأخير الوقت (td) وطول خط الأساس قيم ثابتة لكل محطة فإن مجموع وتبينهما يسمى شفرة التأخير Code Delay وبذلك فإن فرق الوقت الذي يحدد موقع الراصد يتناسب مباشرة مع ثابت الهيبربول و هو الفرق بين بعد المحطة الفرعية وبعد المحطة الرئيسية.

كما يتضح من تأخير الوقت أنه بالإضافة إلى إمكانية قياس فرق الوقت من إشارات كل من المحطة الرئيسية والفرعية بالقرب من خط الأساس فإن تأخير الوقت (td) يلعب دوراً كبيراً في التمييز بين المحطات الفرعية المكونة للشبكة التي تتكون من محطة رئيسية وثلاث محطات فرعية Z, Y, X فإن أقل فرق وقت يكون في موقع المحطة الفرعية (X) ولا يقل

عن ٩٢٥٠ م/ثانية وهي فترة إشارة المحطة الرئيسية وقيمة فرق الوقت بموقع المحطة الرئيسية يكون مساوياً لضعف طول خط الأساس + تأخير الوقت ($2ms+td$) أما فرق الوقت في موقع المحطة التابعة الثانية (Y) فيجب أن يكون أكبر من فرق الوقت في موقع المحطة الرئيسية مع المحطة (X) وأكبر قيمة للمحطة (Y) سيكون عند موقع المحطة الرئيسية حتى نصل إلى فرق الوقت النهائي عند امتداد خط الأساس للمحطة (Z) وهو فرق وقت أقل من فترة تكرار الإشارة (GRI). فإذا كانت (TD) هي فرق الوقت على كل منحني من منحنيات القطع الزائد في نظام لوران والتي تحدد موقع السفينة لكل من المحطات الفرعية الثلاثة، (td) هي تأخير الوقت الواجب إضافته لكل محطة فرعية يفرض، التمييز وتعبير الرموز (MX)، (MY)، (MZ) عن أطوال خطوط الأساس للمحطات الفرعية X, Y, Z والشكل (٧-٢) يوضح حدود القيم المتوقعة لفرق الوقت في أي موقع من شبكة لوران-سى.

ومن هنا يتضح أن تمييز خطوط الموقع في كل من المحطات القديمة المكونة للشبكة يتم عن طريق تأخير الوقت الذي تشير قيمته لكل محطة بحيث تميز قراءات خطوط الموقع.

أما تمييز الشبكات عن بعضها فيتم عن طريق معدل تكرار المجموعة (GRI) (Group Repetition Interval) ويلاحظ أن قيمة الـ (GRI) تأخذ في اعتبارها عدد المحطات وطول خط الأساس بين المحطة الرئيسية والمحطات الفرعية فإذا زاد عدد المحطات وزاد طول خط الأساس تزداد قيمة معدل تكرار المجموعة (GRI).



TD : Time Difference
 tdx : Time Delay
 C : Base Line Length
 GRI : Group Repetition Interval

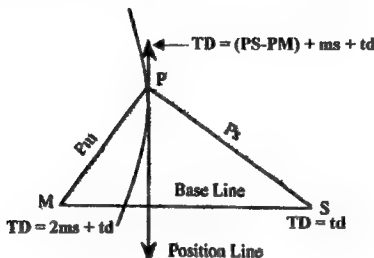
شكل (٧-٢): حدود القيم المسموح بها لفرق الوقت لأي شبكة لنظام لوران-سي

كما يوضح الشكل (٧-٣) قيمة فرق الوقت (TD) ورقم خط الموقع لراصد يتحرك على شبكة الهيربولا بين المحطة الرئيسية وأى من محطة فرعية والتي تميز فى الشكل بالحرف (S)؛ والمعادلة العامة لفرق الوقت هي:

$$TD = (PS - PM) + MS + tdx + E$$

حيث:

TD = فرق الوقت (م.ث)
 PS = بعد الراصد عن المحطة الفرعية (م.ث)
 PM = بعد الراصد عن المحطة الرئيسية (م.ث)
 MS = طول خط الأساس (C) (م.ث)
 tdx = تأخير الوقت (م.ث)
 E = خطأ الموجات السماوية إن وجد (م.ث).
 ويلاحظ أن القيمة (PS - PM) هي قيمة ثابت الهيربولا (2a).



شكل (٣-٧): منحني خط الموقع

وتوضح الخرائط المصغرة للمناطق التي يغطيها نظام لوران كل من المساحات التي تشملها انتشار الموجات الأرضية والمساحات التي تشملها الموجات السماوية، كما توضح هذه الخرائط حدود الدقة الهندسية الناتجة عن تقاطع خطوط الموقع مع الأخذ في الاعتبار مقدار الخطأ الناشئ عن الانحراف المعياري وتقاطع خطوط الموقع، كما تشمل الكنتورات التي توضحها هذه الخرائط مقدار الخطأ الثابت في قياس فرق الوقت والذي يبلغ ١ ميكرو ثانية وهو ما يعادل ١٥ متراً على خط الأساس، ولكن هذه القيمة تزداد إذا كان الراصد يقيم بعيداً عن خط الأساس، وتظهر قيمة الخطأ على شكل كنتورات الدقة الهندسية.

كما توضح خرائط التغطية كنتورات الأخطاء الناشئة عن اختلاف التأثيرات الجوية والنسبة بين قوة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) والتي تبلغ أقصى قيمة لها (٣:١).

٦-٤ معدل تكرار الإشارة Signal Repetition Rate (SRR)

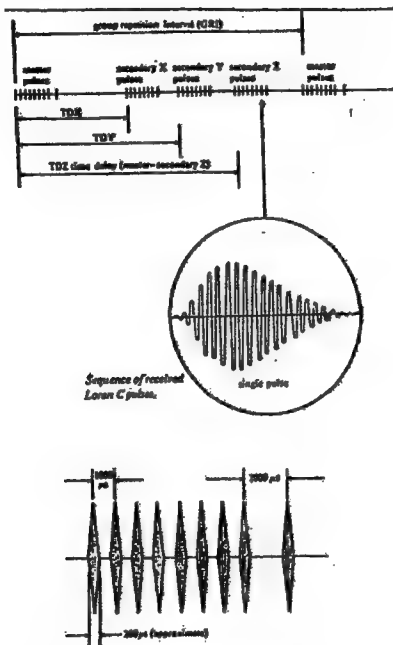
تقوم محطات الإرسال في نظام لوران-سى بإصدار مجموعة النبضات على فترات زمنية معينة ويسمى تعاقب تكرار هذه الإشارات بمعدل التكرار النبضي الأساسي Basic Pulse Repetition Rate. وهو يعبر عن عدد الإشارات التي تصدرها المحطة في الثانية الواحدة فإذا كان معدل التكرار مقداره ٢٠ فمعنى ذلك أن عدد الإشارات التي ترسل في الثانية الواحدة ٢٠ إشارة- وكل إشارة مكونة من ٨ نبضات للمحطة الفرعية ٩ نبضات للمحطة الرئيسية.

٦-٥ فترة تكرار المجموعة Group Repetition Interval (G.R.I)

تقوم شبكات لوران-سى باستخدام معدل تكرار موحد لكل من المحطة الرئيسية والمحطات الفرعية الأخرى ويتبع ذلك بأن تقوم المحطة الرئيسية بإصدار إشاراتها أولاً المكونة من ٩ نبضات وببداها بفترة تقوم المحطة الفرعية التي تليها في الترتيب بإصدار إشاراتها المكونة من ٨ نبضات بنفس المعدل الذي تستخدمه المحطة الرئيسية. ثم تقوم المحطة الفرعية (٧) بإصدار نبضاتها.

ومن مميزات استخدام معدل تكرار نبضي موحد هو عدم إعادة توليف جهاز الاستقبال على معدل نبضي جديد في كل مرة يراد قراءة فرق الوقت بين محطة رئيسية ومحطة فرعية مختلفة للحصول على خط موقع جديد ويساعد على ذلك وجود أجهزة الاستقبال الحديثة التي يمكنها استقبال وتلياس فرق الوقت وتحديد رقم خط الموقع لكلا المحطتين في آن واحد (شكل ٦-٤).

وفي الأجهزة الحديثة فإننا نقوم بتحديد المعدل الموحد GRI ثم إدخال البيانات الخاصة بفرق الوقت التقريبي لكلا المحطتين في آن واحد وفي فترة وجيزة يقوم الجهاز بحساب رقم خط الموقع الدقيق لكل محطة وإظهارها على شاشات البيان أو تحليلها حاسبياً وإظهار موقع السفينة مباشرة.



شكل (٧-٤): شكل وتتابع استقبال إشارات لوران سي

٧-٥ خصائص الترميمات في لوران سي

حيث يستخدم لوران سي ترددات منخفضة ١٠٠ ك.هرتز فإن هذا النوع من الترددات يتميز بإمكانية انتشارها إلى مسافات بعيدة متبعاً مساراً لسطح

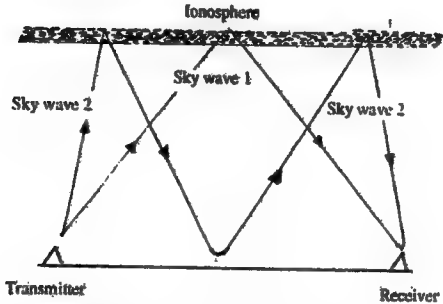
الكرة الأرضية وتسمى الموجات التي تتبع هذا المسار بالموجات الأرضية السطحية وهى تحقق تغطية ملاحية تصل الى مسافة ١٢٠٠ ميل وعلى مسافات أبعد من ذلك فإن مقدار ضعف الموجات الأرضية الذى يتعرض له هذه الترددات يصبح كبيراً (Attenuation) وبذلك فإن الموجات الأرضية من هذا التردد تتلاشى بعد هذا المدى أثناء النهار. وقد تزيد قليلاً الى مسافة ١٤٠٠ ميلاً أثناء الليل (شكل ٧-٥).

وتحتوى كل نبضة من النبضات التى تصدرها محطات لوران على عدد من الموجات قيمته ٢٥ موجة فترة كل منها ١٠ ميكروثانية- وتصل قوة النبضة إلى حوالي ٣٠٠ ك. وات عند إرسالها ويتولف على مدى التغطية المطلوبة من الشبكة فى حالة تغطية مسافات كبيرة فإن خرج الإشارة يكون كبيراً وفى حالة تغطية مسافات قصيرة وطول خط الأساس قصير نسبياً فإن قوة خرج الإشارة يكون فى حدود ٦ ك. وات فقط، وتكون الصعوبة الوحيدة فى استخدام ترددات منخفضة فى نظام لوران أن محطات الإرسال تتطلب هوائيات مرتفعة وشبكة معقدة لإصدار موجة ذات طاقة كبيرة جداً.

وعندما تنتشر موجات الراديو التى تصدرها محطات لوران-سى فإنها تنتشر فى جميع الاتجاهات وجزء من طاقة هذه الموجات يتبع سطح الأرض كما ذكرنا. والجزء الآخر من الطاقة يتجه الى أعلى فى اتجاه طبقات الجو العليا الى أن يمتصهم بطبقات الجو المؤينة كهربياً والتي تسمى الطبقات المتأينة وعلى وجه الخصوص الطبقة (E Layer) منها. وهى على ارتفاع يتراوح بين ٧٣ كم نهاراً و ٩١ كم ليلاً من سطح الأرض تنخفض أثناء النهار وترتفع أثناء الليل كما وأن درجة تأينها وكتلتها تعتمد على مقدار أشعة الشمس الساقطة عليها وتكون أقصى قيمة لها عندما تنتصف الشمس فى السماء.

وتسبب طبقات الجو المتأينة فى فقد جزء من طاقة هذه الموجات وتنعكسها الى سطح الأرض مرة أخرى وهذه الموجات التى تنعكس بفعل طبقات الجو تسمى موجات سماوية Sky Wave ويمكن استخدامها فى قياس فرق الوقت بين المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية على المسافات البعيدة. عندما

يصبح من غير العملى قياس فرق الوقت بين الموجات الأرضية التى يصيبها الوبن بطول ما تقطعه فوق سطح الأرض.



شكل (٧-٥): الموجات السماوية والأرضية للترددات المنخفضة

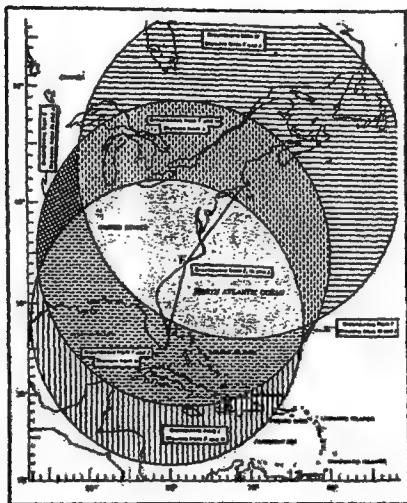
٧-٦ قياس فرق الوقت

أجهزة الاستقبال لنظام لوران-سى مصممة لقياس فرق الوقت بين الموجات الأرضية من كل من المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية. ومن أهم الأمور فى قياس فرق الوقت هو اختيار الإشارات المناسبة لقياس فرق الوقت بينهما. وعلى الراصد أن يحدد بدقة أى من الإشارات تابعة للمحطة الرئيسية وأيهما تابعة للمحطة الفرعية. وعليه أيضا أن يتنبأ بنوع الموجات التى تصله. هل هى موجات سماوية أم موجات أرضية وهذا يمكن معرفته بدراسة خريطة المنطقة التى يوجد بها الراصد ومعرفة بعد الراصد التقريبى من محطات الإرسال، ويوضح الشكل (٧-٦) مناطق تغطية الموجات الأرضية والسماوية لأحد الشبكات الموجودة على الساحل الأمريكى على سبيل المثال والتى توضح للراصد ما إذا كانت الإشارات التى يستقبلها أرضية أم سماوية، والمفضل دائما هو قياس فرق الوقت بين

الموجات الأرضية أما خارج نطاق تغطية الموجات الأرضية فلن يكون هناك بديل عن استخدام الموجات السماوية. وعندئذ يجب إضافة تصحيح خاص لقراءة فرق الوقت بواسطة الموجات السماوية. وهذا التصحيح واجب حيث أن جميع الخرائط والمنحنيات وخطوط المواقع وجداول لوران-سى قد تم حسابها على أساس فرق الوقت المقاس على الموجات الأرضية ولكن نظرا لأن الموجات السماوية تقطع مسارا أطول من ذلك الذى تقطعه الموجات الأرضية فيجب لذلك إيجاد مقدار تصحيح الموجات السماوية.

وعمليا فإنه يفضل استخدام الموجة المنعكسة الأولى من الموجات السماوية (Hop One) عن الموجة المنعكسة الثالثة لأن مقدار التصحيح اللازم لمعايرتها بفرق الوقت عن طريق الموجات سيكون أقل. أما إذا استخدمت موجة أرضية من أحد المحطات وموجة سماوية من محطة أخرى فإن هناك جداول تصحيح خاصة يجب استخدامها لاستنتاج التصحيح المناسب واللازم إضافته الى قراءة فرق الوقت الناتج.

وتقوم أجهزة الاستقبال بمتابعة قراءة فرق الوقت أوتوماتيكيا بين المحطة الرئيسية والسان من المحطات الفرعية ويتم ذلك عندما يتم توليف الجهاز على معدل التكرار النبضى الموحد (GRI) للمحطة وتحديد فرق الوقت التفريسي لكل من المحطة الفرعية الأولى والمحطة الفرعية الثانية، وتظهر قراءات فرق الوقت مباشرة بسرعة وسهولة.



شكل (٧-٦):

تغطية الموجات السماوية والموجات الأرضية
لأحد الشبكات في شرق الولايات المتحدة

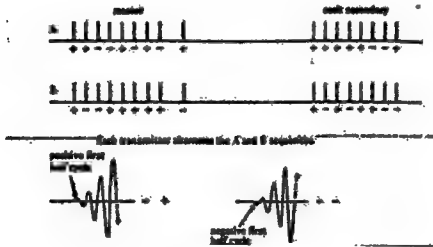
V-V-7 تعبير الشاغل

أولاً: تحقيق طور الكفاءة

Phase Coding

حتى نضمن عدم تداخل الموجات السماوية للنبضة الأولى مع الموجات الأرضية للنبضة الثانية ونضع التأخير الكبير للموجات السماوية من التأثير على فرق الوقت وتداخلها مع الموجات الأرضية

فى النبضات التالية لها فإنه يتم تغير طور الترددات الأساسية (١٠٠ كهرتز) فى النبضات المتتالية (شكل ٧-٧) بحيث تكون الموجة الأولى من النبضة التالية سالبة ثم موجبة أو سالبة مرة أخرى وهكذا، وهذا التغير فى طور الموجات الأولى من كل نبضة من نبضات الإرسال سواء فى المحطة الرئيسية أو المحطات الفرعية يمنع الخطأ فى قياس فرق الوقت من نبضات غير متطابقة، كما يتيح هذا النظام من التفسير تمييز المحطات الفرعية والمحطة الرئيسية والتعرف عليها فىقوم جهاز الاستقبال أوتوماتيكياً بالتعرف على إشارة المحطة الرئيسية وفقاً لشفرة معينة لم يتابع المحطات الفرعية ذات الشفرة المميزة. أى أن النظام الكودى المتبع يسمح بتمييز المحطات ومتابعتها بسهولة وضمان قياس فرق الوقت الدقيق بين المحطة الرئيسية وكل من المحطات الفرعية.



شكل (٧-٧): تغير كود الإرسال

كما أن هذا النظام الذى تتغير فيه طور الموجات المرسلة يفيد فى أن الموجات السماوية المتأينة للنبضة الأولى مثلاً لا يمكنها أن تتداخل مع موجات النبضة الثانية عند وصولها متأخرة لفترة تزيد

١٠٠٠ ميكروثانية، أي أنه يمكن تجنب تداخلات الموجات السماوية التي لا تتفق مع نفس الإشارة المرسله وتقوم محطات لوران بعمل متابعة مستمرة Monitoring بواسطة محطة إضافية في الشبكة لمتابعة انتظام وتوافق إرسال المحطات العاملة ويتم تحديد الملاحين في حالة حدوث اختلاف في التزامن أو خطأ في الوقت عن طريق إشارات خاصة تظهر في أجهزة الاستقبال (Blink).

ثانياً: تطابق الموجات وتطابق النبضات

Cycle Matching & Pulse Matching

يستخدم نظام لوران سى الغلاف الخارجى للنبضات (Pulse Matching) لقياس فرق الزمن بين إشارات المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية وهذا القياس يعطى فرق الوقت التقريبي بينهما ولكن لزيادة الدقة في القياس فقد صممت أجهزة الاستقبال لتوليد ترددات مطابقة لتلك التي تصدرها محطة الإرسال ١٠٠ ك.هرتز. كما تمكنت هذه الأجهزة من تكبير محتويات النبضة الواحدة حتى تظهر الترددات المكونة لها حوالي ٢٥ موجة زمن كل منها ١٠ ميكروثانية. وبدلاً من قياس فرق الزمن مباشرة بين الموجات المعينة وهى الموجة الثالثة في كل نبضة أي بعد انقضاء ٣٠ ميكروثانية من بداية النبضة فإنه يتم قياس فرق الطور بينهما حيث تصل الدقة في قياس فرق الطور الى جزء من المائة من فترة الموجة.

وحيث أن محطات الإرسال جميعها تعمل في توافق زمني دقيق أمكن استخدام مقارنة الطور لإيجاد فرق الوقت الدقيق، وحيث أن قدرة أجهزة القياس تقيس حتى ٩,٦ من فرق الطور (١٪)، فإن ذلك يعادل ٠,٩ م/ث من زمن الموجة، أي أن دقة الموقع الذي تحصل عليه تصل الى ١٥ متراً ($\frac{0.1 \times 300}{2}$). كما أن قياس الطور أسهل من قياس الوقت عند القياس الدقيق وعملية تحويل فرق الطور الى فرق

وقت أصبح أمراً ممكناً ويعطى دقة عالية جداً. أي يعتمد على قياس فرق الوقت بين النبضات ليحصل على فرق الوقت التفريسى (Coarser Time Difference) وتكون القراءات الناتجة من هذا القياس هي جزء من الآلاف وجزء من المئات/ ميكروثانية. ولتصل الدقة في قياس الوقت من مطابقة النبضات 1٪ من فترة النبضة أي ٢,٥ ميكروثانية، وهي تعادل ٣٧٥ متراً على خط الأساس. أما القياس الدقيق فإنه يتم عن طريق مطابقة الموجات، أو الموجات الثالثة أو السابعة من كل من إشارات المحطة الرئيسية والفرعية؛ وهذا يحقق دقة تصل إلى ٠,١ ميكروثانية.

ثالثاً: تمييز الموجات

يستخدم نظام لوران-سى الموجات السماوية أو الموجات الأرضية في تحديد فرق الوقت بين إشارتي محطات الإرسال. واستخدام الموجات الأرضية يكون أكثر دقة. ولكن أحياناً ما تصل الموجات السماوية مع وصول الموجات الأرضية في حدود تغطية الموجات الأرضية على مسافات تقل عن ١٠٠٠ ميل وهذا بالطبع يسبب عدم دقة في القياس إذ تتداخل كل من الموجات السماوية والموجات الأرضية علماً بأن قوة الموجات السماوية تكون أكبر من الموجات الأرضية في حين أن المفروض هو قياس فرق الوقت بين الموجات الأرضية عندما يتواجد الراصد في منطقة تغطية الموجات الأرضية والتي على أساسها تم حساب خطوط ومنحنيات وجداول نظام لوران بالكامل. ونظراً لأن الموجات السماوية تقطع مساراً أكبر من مسار الموجات الأرضية، أي أن الوقت الذي تقطعه الموجات السماوية لوصولها إلى الراصد أكبر فإن الموجات السماوية تصل متأخرة عن الموجات الأرضية دائماً وأقل زمن لهذا التأخير يبدأ عن محطة الإرسال هو حوالي ٣٠ ميكروثانية وهو بالطبع يتوقف على ارتفاع الطبقة المؤينة وظروف انتشار الموجات الكهرومغناطيسية ذات التردد المنخفض في وقت القياس وإذا وصلت كلا من الإشارتين الأرضية

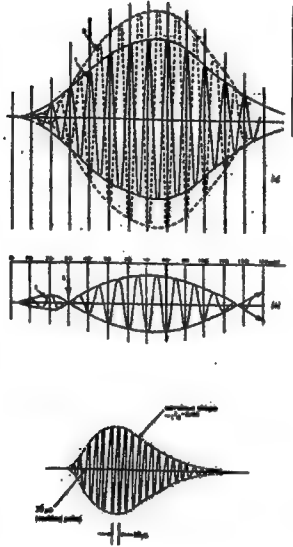
والسماوية فإنهما سوف يتراكبان ويتسبب هذا التداخل فى صعوبة قياس فرق الوقت وصعوبة فى تميز الموجات الأرضية من الموجات السماوية وإذا حدث قياس بين الموجات السماوية والموجات الأرضية فإن خطأ كبيراً فى تحديد فرق الوقت وبالتالي تحديد خط الموقع سوف يحدث وقد لا يظن إليه الراصد.

وحتى تجنب الراصد هذه الصعوبة والغموض فى تميز الموجات الأرضية والسماوية فى المدى القريب من نقطة المحطة حيث يكون الفرق أكبر ما يمكن فقد صممت أجهزة الاستقبال بقياس فرق الوقت بين موجات المحطة الرئيسية وموجات المحطة الفرعية فى الجزء الأول من النبضة أى فى حوالى الثلاثون ميكروثانية الأولى. وحيث أن فترة النبضة كلها حوالى ٢٥٠ ميكروثانية فإن قياس فرق الوقت يتم عند مقدمتها وبالتحديد عند الموجة الثالثة. أما عند الموجة الأولى والثانية فإن طاقة الموجات تكون صغيرة وغالباً ما تكون غير واضحة على المسافات البعيدة. أما إذا وصلت الموجات السماوية فإنها سوف تتداخل مع الموجات التالية للموجة الثالثة أى بعد فترة تزيد عن ٣٠ ميكروثانية.

وحتى يتم القياس على الموجة الثالثة فقط من نبضات المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية فإن أجهزة الاستقبال فى نظام لوران-سى تقوم بتكبير النبضة المستقبلة أى تكبير جميع الموجات داخل النبضة بمقدار ١,٣٥ مرة فنحصل على موجات مكبرة عن الموجات المستقبلة بالفعل ثم يقوم الجهاز بتغيير الطور بمقدار ٩٨٠° فقط ثم يجمع النبضة الأساسية والنبضة المكبرة فإننا نحصل على نبضة منقسمة شدتها صفرأ عند الموجة الثالثة منها. وتكون نقطة القياس سهلة التميز ويمكن مقارنتها بنقطة قياس مماثلة من الموجات الخاصة بالمحطات الفرعية حيث تكون سعة الإشارة صفرأ عند هذه النقطة ويوضح الشكل (٧-٨) مراحل تكبير النبضة ثم تغيير طورها والحصول على محصلة تستخدم فى قياس فرق الوقت عند الموجة الثالثة فى

النبضة. أما على مسافات تزيد عن ١٢٠٠ ميل فإن الموجات الأرضية تكون قد ضعفت ووهنت وتلاشت بالمرّة، وفي هذه الحالة يمكننا استخدام الموجات السماوية في كل من المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية لإيجاد فرق الوقت وعندئذ فإنه من الضروري جداً إضافة تصحيحات الموجات السماوية والتي يمكن الحصول عليها من الغرامات الشبكية الخاصة بنظام لورانس سي أو من الجداول أو إيجادها رياضياً، وعموماً فإن انتشار الموجات السماوية للترددات المنخفضة يكون مستقراً في معظم الأحيان فيما عدا حوالي نصف ساعة قبل وبعد شروق وغروب الشمس فلا ينصح باستخدام نظام لورانس سي خارج حدود قطبية الموجات الأرضية مثله مثل معظم الأنظمة التي تعتمد على الموجات الكهرومغناطيسية وتستخدم ترددات منخفضة وتصدر إشارة تحذيرية من المحطة الرئيسية أو أحد المحطات الفرعية في حالة حدوث خلل أو عطل في أجهزة التزامن بين إرسال محطات الإرسال في حالة توقف الإرسال بفرض الصيانة أو الإصلاح ويكون التحذير على شكل إرسال متقطع On-Off لكل من النبضة الأولى والثانية للمحطة الفرعية التي تأثرت بهذا الخلل أو بإظهار رمز كودي دلالة على توقف إرسال المحطة الرئيسية أو إحدى المحطات الفرعية كما توضح إشارة التحذير أحد الاحتمالات التالية:

- أ- أن يكون فرق الوقت المقاس غير دقيق.
 - ب- عدم تطابق النبضات بين المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية أو عدم انتظامها.
 - ج- عدم انتظام معدل الإرسال الجماعي (GRI).
 - د- انخفاض قوة الإرسال عن المعدل المسموح به لتغطية المنطقة المنوط بها محطة الإرسال.
- وتستمر إشارة التحذير في التكرار حتى يتم إصلاح الخلل.



شكل (٧-٨): مطابقة الموجات لقياس فرق الوقت في زمن الموجة الثالثة

Sky Wave Correction

٧-٨ تصحيح مسار الموجات السماوية

إضافة تصحيح الموجات السماوية ضروري في حالة استخدام موجات سماوية من كل من المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية أو موجات سماوية مع موجات أرضية مع أي من محطتي الإرسال ويمكن الحصول على مقدار تصحيح الموجات السماوية مباشرة من منحنيات تأخير إرسال الموجات

الساوية وهذه المنحنيات تعطي متوسط تأخير الوقت اللازم للإشارة التي تصدرها محطات الإرسال لتتبع مسار الموجة الساوية المنعكسة من الطبقات المؤينة ويمكن إثبات أن تصحيح الموجات الساوية يكون صغراً عند أي نقطة على الخط المركزي المنصف لخط القاعدة.

وعند هذا الخط فإن فرق الوقت بين الموجات الساوية يكون متساوياً مع فرق الوقت للموجات الأرضية لأن كلا الموجات الساوية من كلا المحستان سوف تتأخر عن الموجات الأرضية بنفس المقدار نظراً لتساوي المسافات بين الراصد وكل من محطات الإرسال بشرط تساوي شروط انتشار الموجات الساوية لكل من المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية ولكن على نقطة غير الخط المنصف فإن مسار أحد الإشارات يكون أطول من مسار الإشارات الصادرة من المحطة الأخرى وبذلك فإن قراءات فرق الوقت بين الموجات الساوية سوف تكون أطول من قراءات فرق الوقت للموجات الأرضية.

ويوجه عام فإن مقدار تصحيح الموجات الساوية يكون مساوياً للفرق بين تأخير الإرسال للموجات الساوية لكل من المحستان.

أولاً: جداول تصحيح خطأ الموجات الساوية

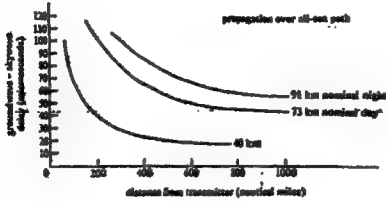
إذا تم القياس على الموجات الساوية (IS) فيجب تصحيحها حتى نحصل على مقدار فرق الوقت المناظر لها على الموجات الأرضية (TG) وقد حسبت قيم هذه وجدولت في جداول خاصة تسبق الجداول الأساسية لتحديد خطوط الموقع بنظام لوران-مسي وقد كتبت هذه التصحيحات مقابل درجات صحيحة من خطوط العرض وخطوط الطول. وقد يكون مقدار التصحيح مسجلاً في أجهزة الاستقبال لذا يجب التأكد من أن قيمة تصحيحات الموجات الساوية قد تم إضافتها.

ثانياً: التصحيحات الخاصة

جميع التصحيحات من النوع الذى ذكر سابقاً يضاف إذا كان فرق الوقت مأخوذاً من كلا الموجات السماوية من كلا محطتي الإرسال ولكن إذا كانت الموجات السماوية مأخوذة من إحدى المحطتين وموجات أرضية من المحطة الأخرى ففى هذه الحالة لا يجب استخدام معادلة تصحيح الموجات السماوية. وإنما يلزم إضافة تصحيح خاص ويحدث هذا عندما يكون طول خط القاعدة كبيراً أو يكون الراصد يقع بالقرب من أحد المحطات فيستقبل منها موجات أرضية أو يكون بعيداً عن المحطة الأخرى فيستقبل منها موجات سماوية فقط وفى هذه الحالة يمكن استخدام منحنيات تأخير الوقت ويستخرج مقدار تأخير الموجات السماوية عن الموجات الأرضية بالنسبة للمحطة البعيدة عنه. وتضاف هذه التصحيحات إذا رصدت موجة سماوية من المحطة الرئيسية وموجات أرضية من المحطة الفرعية (شكل ٧-٩).

بالإضافة إلى منحنيات تأخير الوقت التى صممت إلى ارتفاعين فقط من ارتفاعات الطبقات المؤينة ٩١ ليلاً، ٧٣ نهاراً فإنه يمكن استخراجها من جداول التصحيح الخاصة التى تسبق جداول إيجاد خطوط الموقع فى جداول لورانسى.

وبوجه عام فإن قياس فرق الوقت بين الموجات السماوية غير مفضل فى الأماكن التى تتطلب معرفة الموقع بدقة ولكن على مسافات بعيدة عن الساحل حيث تقل الحاجة إلى دقة عالية فى تحديد الموقع فإن الموجات السماوية يمكنها أن تعطى دلالة جيدة على موقع السفينة وتبلغ الدقة المتوقعة فى هذه الأماكن حوالى ٢ ميل أما بالقرب من محطات الإرسال فإن دقة الموقع قد تصل إلى ربع ميل بينما تصل إلى ١٥ متراً فقط على خط الأساس.



شكل (٩-٧): منحني تصحيح الموجات السماوية

ثالثاً: معادلة تصميم مسارات الموجات السماوية

- ١- إذا استخدمت الموجات السماوية من كل من المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية (TS)، فإن مقدار التصحيح بالميكروثانية يمكن إيجاده بالعلاقة الرياضية التالية:

$$\text{Sky Wave Correction (Es)} = \frac{20h^2}{3} \left(\frac{Ds - Dm}{Ds \times Dm} \right)$$

حيث:

$$Es = \text{مقدار التصحيح بالميكروثانية}$$

$$h = \text{ارتفاع الطبقة المؤينة بالكيلومتر}$$

$$Ds = \text{بعد الراصد عن المحطة الفرعية بالكيلومترات}$$

$$Dm = \text{بعد الراصد عن المحطة الرئيسية بالكيلومترات}$$

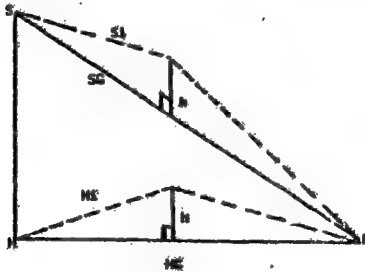
- ٢- إذا كانت السفينة تقع بالقرب من المحطة الرئيسية وبعيدة عن المحطة الفرعية بحيث استخدمت الموجات الأرضية من المحطة الرئيسية والموجات السماوية من المحطة الفرعية TGS فتكون معادلة تصحيح الخطأ كالتالي:

$$EGS = \frac{20h^2}{30 Dm}$$

٢- إذا كانت السفينة واقعة بالقرب من المحطة الفرعية وبعيداً عن المحطة الرئيسية فإنها تستخدم الموجات السماوية من المحطة الرئيسية والموجات الأرضية من المحطة الفرعية (TSG) وتكون معادلة تصحيح الموجات السماوية كالآتي:

$$ESG = \frac{20h^2}{30Ds}$$

وبوضح الشكل (٧-١٠) الاحتمالات الثلاثة لاستقبال إشارات كل من المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية حسب بعد كل منهما عن مكان الراصد وعموماً فإنه على مسافة تبعد حوالي ١٠٠٠ ميل من محطة الإرسال فإن الاستقبال يكون على الموجات السماوية بينما تكون الموجات الأرضية ضعيفة جداً.



شكل (٧-١٠): مسارات إشارات لورانس

ويمكن تلخيص الاحتمالات الأربعة للاستقبال كالآتي:

- | | | |
|---------------|-------|-----|
| TG = MG - SG | _____ | (1) |
| TS = Mi - Si | _____ | (2) |
| TGS = MG - Di | _____ | (3) |
| TSG = Mi - SG | _____ | (4) |

حيث:

MG	مسار أرضي للمحطة الرئيسية
Mi	مسار سماوي للمحطة الرئيسية
SG	مسار أرضي للمحطة الفرعية
Si	مسار سماوي للمحطة الفرعية

ولكن الموجة السماوية (Mi) يمكن استبدالها بقيمة كل من المسافة على الموجة الأرضية وارتفاع الطبقة المؤينة (h).

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{2} M_i &= \sqrt{\left(\frac{1}{2} MG\right)^2 + h^2} \\
 &= \frac{1}{2} MG \sqrt{1 + \frac{h^2}{\frac{1}{4}(MG)^2}} \\
 &\quad \text{Binomial Expansion} \\
 &= MG \left(1 + \frac{2h^2}{(MG)^2}\right) \\
 \therefore M_i &= MG + \frac{2h^2}{MG}
 \end{aligned}$$

أي أنه يمكن التعويض عن المسار السماوي بالمسار الأرضي وارتفاع الطبقة المؤينة سواء للمحطة الرئيسية أو المحطة الفرعية لاستنتاج المعادلة العامة لتصحيح خطأ الموجات السماوية (ES).

٧-٩ دقة الموقع Position Accuracy

بوجه عام فإن نظام لوران-سى يوفر دقة عالية للموقع المرصود وعلى مسافات كبيرة من محطات الإرسال ويتميز باعتمادية Reliability عالية، وكثيره من جميع الأنظمة الإلكترونية التي تعتمد على موجات الراديو وعلى خصائص منحنيات القطع الزائد (الهيبربول) فإنه قد يتعرض لبعض الأخطاء أو أن دقته تقل في بعض الأماكن من منطقة التغطية أو في بعض الأوقات من اليوم. ومن أكثر العوامل التي تؤثر على دقة الموقع هو التوزيع

الهندسى لشبكات لوران وبالتالي امتدادات منحنيات وخطوط الموقع الناشئة بها هندسة تقاطع هذه الخطوط فى مكان الراصد. وحيث أن معظم أجهزة الاستقبال فى نظام لوران والحديثة تعطى الموقع الجغرافى لخط العرض وخط الطول مباشرة بدون الرجوع إلى خرائط لوران الشبكية أو الجداول وبالتالي فإن الراصد لن تكون لديه صورة واضحة لموقع محطات الإرسال وموقع السفينة النسبى لهذه المحطات حتى يدرك شكل تقاطعات خطوط الموقع من أكثر من محطة وبالتالي يصعب عليه تقييم مقدار الخطأ الناشئ عن الدقة الهندسية حيث يفضل اختيار المحطات التى تعطى خطوطاً للموقع تقاطع مع بعضها فى مكان الراصد بزوايا قريبة من الزوايا المتعامدة (٩٠°).

كما أن عدم معرفة الراصد لبعده التقرىبى من محطات الإرسال قد تجعله يفضل عن إضافة تصحيحات الموجات السماوية فى حالة استقبالها؛ وهذا ان العاملان أى زاوية التقاطع وتصحيح مسار الموجات السماوية قد يسببان خطأ كبيراً فى إحداثيات الموقع المرصود، وتتوقف دقة المرصود بنظام لوران على العوامل التالية: الدقة الجيومترية، الدقة التكرارية، والدقة المطلقة.

Geometric Accuracy

أولاً: الدقة الجيومترية

أ- التوزيع الهندسى للمحطات

ب- تقاطع خطوط الموقع

ج- تدرج خطوط الموقع

د- معامل تمدد الحرارة.

تشأ خطوط الموقع فى نظام لوران -كثيره من الأنظمة التى تعتمد على نظرية الهيربول- على شكل منحنيات يكون الخط المنصف منها بين المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية خطأ مستقيماً عمودياً على خط الأساس، أما خطوط الموقع على كل من جانبي الخط المنصف، فإنها تأخذ فى الانحناء التدريجى وتتباعدها نهاياتها بعيداً عن الخط المنصف وتتبع فى تباعدها أو زيادة المسافة بينها معامل تمدد الهيربول الذى يتناسب عكسياً مع جا $\frac{1}{2}$ الزاوية المحصورة

بين اتجاه المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية المقاسة من موقع الرصد، فكلما كانت الزاوية صغيرة كلما زاد مقدار تمدد المسافات بين منحنيات السهير بولا والذي يسمى بتمدد الحارات Lane Expansion، ف عندما يتحرك الرصد على خط الأساس فإن فرق الوقت الذي يحدد خطوط الموقع سوف يتغير بمقدار ٠,١ ميكروثانية كل ١٥ متر، وفي مكان آخر خلاف خط الأساس فإن دقة جهاز الاستقبال في قياس فرق الوقت سوف تقل وبالتالي تزداد قيمة الخطأ بنفس قيمة معامل التمدد الذي تزداد به المسافة بين منحنيات وخطوط الموقع و يبلغ هذا المعامل -والذي يطلق عليه أيضاً تدرج خطوط الموقع Line of Position Gradient- أقصى قيمة له على طول امتداد خط الأساس خلف المحطة الرئيسية أو المحطة الفرعية حيث تكون الزاوية المحصورة بين كل المحطات مقدارها صفر ويكون معامل التمدد أو التدرج لا نهائي، وحتى إذا كان مقدار الخطأ في قياس فرق الوقت قيمة صغيرة جداً فإن قيمة الخطأ تصبح لا نهائية؛ ولذلك لا يجب استخدام النظام في تحديد الموقع على امتداد خط الأساس خلف محطات الإرسال (BLE) Base Line Extension أي أن العامل الأول في تحديد قيمة الدقة الهندسية هو انحناء خطوط الموقع وتدرج تباعدها عن بعضها Expansion of Gradient، ويجب ملاحظة أن مقدار الانحناء في منحنيات السهير بولا يزداد عندما يكون طول خط الأساس بين محطتي الإرسال قصيراً ويقل هذا الانحناء أو يقل التدرج عندما يكون خط الأساس كبيراً.

أما العامل الثاني الذي يجب ملاحظته لتحديد دقة الرصد هو أن موقع الرصد يتم حسابه بواسطة تقاطع خطين من منحنيات الموقع، وكما نعلم فإن أفضل موقع نحصل عليه في أعمال الملاحة بصفة عامة عندما تقاطع خطوط الموقع بزاوية قائمة، وكل من هذين العاملين وهما تدرج خطوط الموقع وزاوية التقاطع بين خطي

الموقع تحددان مقدار الدقة الهندسية أو الجيومترية Geometric Accuracy وتنبسب في وجود منطقة من عدم التأكد أو مساحة خطأ متغير، ويوضح الشكل (٧-١١) الشكل الجيومترى Geometry of Position لنظام لوران للموقع (P) المحدد بواسطة خطي موقع من كل من المحطة الرئيسية (M) والمحطة الفرعية (S₁) والمحطة الفرعية (S₂) فتكون زاوية تقاطع الخطين (B) كالآتي:

$$\text{Angle of Cut} = 0.5 (\theta_1 + \theta_2)$$

حيث:

θ_1 : هي الزاوية بين اتجاه المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية الأولى (S₁)
 θ_2 : هي الزاوية بين اتجاه المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية الثانية (S₂)
 وكلما اقتربت هذه الزاوية من ٩٠° كلما قلت مساحة الخطأ الناشئ عن الدقة الهندسية وكلما قلت هذه الزاوية تزداد مساحة المنطقة. وتكون منطقة عدم التأكد على شكل دائرة نصف قطرها:

$$rms = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2}$$

حيث:

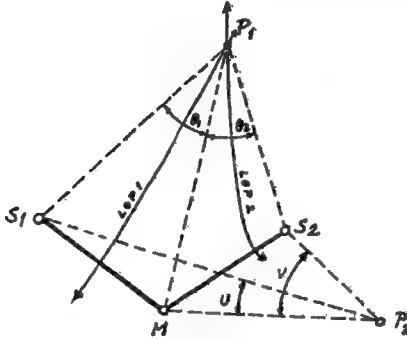
δ_1, δ_2 هما الانحراف المعياري لكل من خطي الموقع الأول والثاني.

أما إذا كانت زاوية التقاطع بين خطوط الموقع (P) أقل من ٩٠° فإن مساحة الخطأ تتحول من دائرة ذات نصف قطر إلى شكل بيضاوي له نصفي قطر أحدهما أكبر من الآخر ويؤخذ الطول الأكبر كأساس لقيمة الخطأ كالتالي:

$$rms = \text{cosec } P \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + 2K \delta_1 \delta_2 \cos B}$$

حيث (K) هي قيمة الارتباط بين كل من الانحراف المعياري الأول (δ_1) والانحراف المعياري الثاني (δ_2)، وقيمة الخطأ المشار إليها تمثل ٦٨٪ من الاحتمالات في مساحة نصف قطرها القيمة التي تحصل عليها من المعادلة المذكورة. ولزيادة احتمالات الثقة في قيمة الخطأ تؤخذ ضعف هذه القيمة وتسمى (2drms) وتصل الاحتمالات لهذه القيمة المضاعفة إلى ٩٨٪ من مجموع الرصدات ويعبر الحرف (d)

عن اتجاه غير محدد أو يعنى أن قيمة الخطأ تكون فى أى اتجاه من النقطة محل الاهتمام.



شكل (٧-١١): زاوية التقاطع بين خطي الموقع

Repeatability Accuracy

ثانياً: الملقاة التكرارية

ينشأ الخطأ المؤثر على الدقة التكرارية من العوامل التالية:

- أ- الضوضاء
 - ب- تداخلات الموجات
 - ج- التغير فى سرعة الانتشار
 - د- التغيرات المناخية.
- الدقة التكرارية هي قياس قدرة جهاز الاستقبال أو النظام على رصد موقع معين ثم التحرك فى مسافات واتجاهات مختلفة ثم العودة إلى نفس الموقع السابق رصده باستخدام نفس جهاز الاستقبال. فإذا استطاع الراصد أن يعود مرة أخرى لنفس الموقع ونفس قراءات فرق الوقت أو الإحداثيات فإن الدقة التكرارية تكون عالية جداً.

غير أن قدرة النظام على تحقيق الدقة التكرارية تعتمد على العوامل الهندسية التى تم ذكرها فاما سبق وهى لدرج المنحنىات وزاوية تقاطع خطوط الموقع كما تعتمد على الاختلاف فى قياس فرق الوقت، هذا الاختلاف الذى قد ينتج عن الشوشرة الكهربائية التى يمكن أن تؤثر على أداء استقبال جهاز الاستقبال أو التداخل أو تأثير المناخ وأيضاً على مقدرة جهاز الاستقبال نفسه Electronic Limitation وعلى استقرار وانتظام محطات الإرسال.

وحيث أن هذه الاختلافات والانتراجات غير منتظمة بل وعشوائية ومن الصعب التنبؤ بها ولذلك فإنه يجب التعبير عن اصطلاح الدقة Accuracy بمعايير الاحتمالات Probability وليس بالمعايير المطلقة Absolute.

وللأغراض العملية فإنه من المقبول أن نعبر عن قيمة الدقة التكرارية بمقدار نصف قطر من الدائرة التى تحتوى على ٩٥٪ من احتمالات وجود الموقع بداخلها فى منطقة معينة والتى نطلق عليها 2drms Error أو الخطأ المروحي Radial Error. ومن المهم بالطبع عند استخدام جهاز استقبال جديد لنظام لوران أو عندما نقوم بأعمال مسح بحرى أن نعاير الجهاز لمقدار الدقة التكرارية ونقوم بمتابعة قراءة فرق الوقت بالميكروثانية حتى وإن كان الجهاز من النوع الحديث الذى يحدد إحداثيات الموقع بخط الطول وخط العرض حتى نتجنب أى خطأ عند حساب هذه الإحداثيات الجغرافية واحتمال الاختيار الأتوماليكى لمحطتى الإرسال الذى يمكن أن يقوم بها الجهاز دون أن يشعر الراصد بأن الجهاز قد تحول من خلية إلى أخرى أو من شبكة إلى أخرى فى نفس المنطقة.

وبالطبع فإن الإجراء الملاحى التقليدى لتحسين مقدار الدقة التكرارية هو أخذ المتوسط الحسابى لعدد من القراءات التى ترصدها فى نفس الوقت وفى نفس المكان، أما إذا كان رصد الموقع يتم فى نفس المكان وعلى فترات مختلفة تغيير فيها التأثيرات

المناخية فإنه يجب حساب الانحراف المعياري Standard
Deviation للموقع المرصود.

Absolute Accuracy

الثالث، الدقة المطلقة

تأثر الدقة المطلقة بالعوامل التالية:

- أ- سرعة الانتشار
- ب- خطأ قياس فرق الوقت
- ج- خطأ التزامن بين المحطات
- د- معامل تمدد الحارات.

الدقة المطلقة هي قدرة النظام الملاحي على تحويل فرق الوقت من خليتين من نظام لوران إلى موقع مرصود مطابق للموقع الجغرافي الذي يوجد به الراصد. هذا التحويل من فرق الوقت إلى إحداثيات جغرافية لخط الطول وخط العرض تعتمد على ثبات سرعة انتشار الموجات الكهرومغناطيسية التي تنتشر فوق سطح الأرض. هذه السرعة قد تم تحديدها بدقة فوق سطح البحر ولكن فوق اليابس أو الأرض فإن قيمة السرعة تنخفض بقيم مختلفة نظراً لاختلاف معامل توصيل الأرض Earth Conductivity، وفي المعتاد فإن خرائط لوران وكذا أجهزة الاستقبال التي تقوم بتحويل فرق الوقت إلى إحداثيات جغرافية تعتمد في حسابات الموقع على فرضية هامة وهي أن سرعة الانتشار هي تلك السرعة المساوية لانتشار الموجات فوق مياه البحر Sea Water، ولكن عندما تمر موجات لوران فوق اليابسة فإن سرعتها سوف تختلف قليلاً عن السرعة التي تم بواسطتها حساب الإحداثيات الجغرافية للموقع وسوف يتسبب هذا الاختلاف في السرعة الحقيقية عن السرعة الحسابية للانتشار في وجود اختلاف في فرق الوقت في موقع الرصد وهذا الاختلاف أيضاً الذي يطلق عليه الاصطلاح Additional Secondary Factor (ASF) يتأثر بكل من الانحناء ومعامل الانتشار Expansion وزاوية التقاطع بين خطوط الموقع، ويجب ملاحظة أنه بالقرب من امتداد خط الأساس (BLE)

فإن الاختلاف البسيط في سرعة الانتشار (ASF) قد يسبب خطأ كبيراً في الموقع المرصود. ومن الأخطاء الأخرى التي قد تتعرض لها أعمال الرصد بواسطة نظام لوران هي أخطاء التزامن Synchronization Error بين كل من المحطة الرئيسية وأي من المحطات الفرعية والتي تسبب خطأ في الإحداثيات الجغرافية، غير أن شبكات لوران تزود بمحطات متابعة Monitoring Stations لتتابع ومراقبة دقة التزامن بين إشارات محطات الإرسال، وبالإضافة إلى ذلك فتنبأ الخطأ عن المكونات الداخلية لجهاز الاستقبال والذي قد لا يظن إليه الملاح أو المستخدم ولذلك فإنه من المفضل مقارنة ومعايرة جهاز الاستقبال بأجهزة أخرى لتحديد الموقع لاكتشاف أي اختلافات كبيرة في الموقع غير تلك التي قد تتوقعها من مصادر الأخطاء الأخرى، وقد يكون الخطأ ناشئ عن تعرض هوائى المستقبل إلى شوشرة شديدة Severe Noise Conditions. وعلى ذلك فإن الدقة العامة لنظام لوران تعتمد على عدد من العوامل التي لا يجب إغفالها وهي متداخلة مع بعضها فتزداد الدقة بالقرب من خط الأساس وتقل بعيداً عنه. ويمكن إجمال العوامل المؤثرة في العناصر التالية:

- ١- تزامن وقطابق إرسال محطات الإرسال
- ٢- قدرة أجهزة الاستقبال على القياس الدقيق
- ٣- تصحيحات الموجات السماوية
- ٤- موقع الراصد من محطات الإرسال
- ٥- البيانات الواردة في جداول وخرائط لوران
- ٦- زاوية تقاطع خطوط الموقع
- ٧- معامل تمدد الحارات في منطقة الراصد
- ٨- تدرج خطوط الموقع وقياس رسم الخريطة
- ٩- قدرة جهاز الاستقبال على مقاومة الشوشرة
- ١٠- المؤثرات الكهرومغناطيسية الناتجة عن التآين أو الطقس.

٧-١٠ الظواهر الخارجية

Doppler Effect

أولاً: تأثير دوبلر

من خصائص الإشارات الكهرومغناطيسية بوجه عام أن تردداتها لا تتغير بزيادة المسافة التي تقطعها، فإذا كان كل من المرسل والمستقبل ثابتين فإن الترددات التي تُرسل هي نفسها الترددات التي تُستقبل، ولكن إذا حدث أن أي من المرسل أو المستقبل تحرك في اتجاه الآخر أو بعيداً عنه أي أنه تنشأ حركة نسبية بين كل من المستقبل والمرسل، فإن الترددات التي تستقبل تختلف اختلافاً بسيطاً عن تلك التي أرسلت ويكون فرق الترددات المرسل والمستقبل (ft-ft) دالة لمقدار السرعة النسبية بينهما فكلما زاد فرق الترددات دل ذلك على زيادة السرعة النسبية بينهما وتسمى هذه الظاهرة بالدوبلر وتبلغ قيمة هذا التأثير ذروتها إذا كانت السفينة متحركة في اتجاه إحدى محطات الإرسال أو بعيداً عنها.

Noise Effect

ثانياً: تأثير الضوضاء

في الأساس فإن المدى المؤثر لاستخدام نظام ديكما والدقة التي يمكن الحصول عليها تتوقف على مقدار النسبة بين الضوضاء / إلى قوة الإشارة المرسل. وتقوم محطات الإرسال ببث إشاراتها بالقوة المناسبة حتى تضمن وصول إشاراتها إلى المدى المطلوب لتغطيته، ففي الأماكن التي يُتوقع تغطية النظام إلى مسافات بعيدة نسبياً، فإن قوة البث تزداد في هذه المحطات عن تلك التي تعمل لتغطية مسافات أقل، كما يؤخذ في الحسبان مقدار التأثيرات والضوضاء الناتجة عن جو المنطقة، كما أنه يتوقع أن تقل الدقة إذا قلت النسبة بين قوة الإشارة إلى قوة الضوضاء المتوقعة في المنطقة (Signal/Noise)، وبالمعنى فإنه من المحتمل أن يتعرض جهاز الاستقبال إلى تداخلات شديدة محلية تؤثر على قوة الإشارة مثل التأثير الاستاتيكي لترسيب المطر، ويمكن التنبؤ بهذه التداخلات واحتمال وجود الضوضاء ومعاملة القراءات الناتجة بحذر - كما أنه قد

تحدث شوشرة وتداخلات أخرى إذا كان هناك إرسال من أجهزة
أخرى تعمل على نفس الترددات التي يعمل عليها النظام.

الفصل الثامن

قياس الأعماق بالصدى

The Echo Sounding

٨- قياس الأعماق بالصدى

٨-١ المبادئ العامة لقياس الأعماق General Principles

من المهم أن نتعرف في هذه الدراسة على حقيقة مؤداها أن أجهزة الجس بالصدى لا تقيس العمق مباشرة ولكنها تقيس فقط الوقت المستغرق لنبضة صوتية تقوم بإرسالها بين لحظة الإرسال ولحظة الاستقبال بعد انعكاسها وعودتها من قاع البحر، ويتم بعد ذلك تحويل فرق الوقت إلى عمق بمعرفة سرعة انتشار الموجات الصوتية في الماء والتي يفترض أنها ثابتة في المنطقة التي يتم فيها حساب العمق؛ أي أن:

$$D_0 = \frac{1}{2} t V_0$$

حيث أن:

D_0 = العمق المقاس

V_0 = سرعة الصوت في الماء وهي ١٥٠٠ متر/ثانية

t = الفترة الزمنية التي تستغرقها النبضة الصوتية التي تطلقها وحدة الإرسال حتى تصل إلى القاع وتعود مرة أخرى لتستقبلها وحدة الاستقبال بجهاز جس الأعماق.

فإذا كان العمق الموضح بواسطة جهاز جس الأعماق مطابقاً للعمق الحقيقي، معنى ذلك أن الجهاز قد قام بقياس وقت إرسال النبضة الصوتية واستقبالها صحيحاً، وكذلك فإن سرعة الصوت في الماء -والتي تم افتراض صحتها هي الأخرى- ولكن دائماً ما يكون هناك اختلاف في السرعة الافتراضية للصوت في الماء عن السرعة الحقيقية ولذلك فإنه يتم إدخال تعديل أو تصحيح بسيط في قيمة الزمن المقاس بحيث يقوم بالتعويض عن قيمة الاختلاف في سرعة الصوت وبحيث يكون الناتج وهو العمق المقاس -مطابقاً للعمق الحقيقي وقت الجس.

وتتكون أجهزة جس الأعماق بوجه عام من الوحدات الرئيسية التالية:

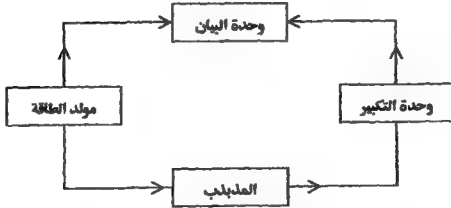
- وحدة توليد الدبذبات Oscillators
- وحدة الإرسال/الاستقبال Transducers

Amplifier وحدة التكبير

Recorder/Indicator وحدة البيان/التسجيل

وعادة ما تكون هذه الوحدات مركبة في حافظة واحدة ما عدا وحدة الإرسال والاستقبال والتي تتكون من مرسل ومستقبل أو وحدة واحدة تؤدي كلتا الوظائفين وتثبت في قاع السفينة في اتجاه قاع البحر.

وتقوم وحدة توليد الإشارة أو الدبذبة بتوليد إشارة كهربائية على شكل نبضات قصيرة يمر جزء صغير منها إلى وحدة البيان لإيضاح بدء الإرسال، والجزء الأكبر من طاقة الإشارة يمر إلى جهاز الإرسال الذي يقوم بتحويل الإشارة الكهربائية إلى اهتزازات ميكانيكية تحدث الإشارة الصوتية المطلوبة وتنتشر هذه النبضة الصوتية إلى القاع وعندما ترتد مرة أخرى في اتجاه السفينة فإن وحدة الاستقبال تقوم بتحويل الاهتزازات الصوتية إلى إشارة كهربائية يتم تكبيرها بواسطة وحدة التكبير ومنها إلى وحدة البيان التي تقوم بإيضاح مقدار العمق أسفل السفينة وذلك بإشارة صوتية أو بالتسجيل على ورق حساس خاص، ويوضح الشكل (٨-١) المكونات الرئيسية لجهاز جسي الأعماق.



شكل (٨-١): المكونات الرئيسية لجهاز جسي الأعماق بالصدى

يطلق جهاز توليد المذبذبات الصوتية في الماء موجات صوتية عبارة عن اهتزازات ميكانيكية تتكون من مجموعة من التضامطات والتخلخلات المتعاقبة تنتشر بانتظام خارج مولد الدبذبة.

ويمكن استخدام عواكس الموجات لتركيز هذه الموجات في حزمة مركزة في اتجاه واحد لتركيز طاقة النبضة فيه ومن ثم يتوقف مقدار الكفاءة في قياس العمق على دقة العوامل المتغيرة التي تحدد قوة وشكل واتجاه تركيز الطاقة وإرسال واستقبال هذه النبضات.

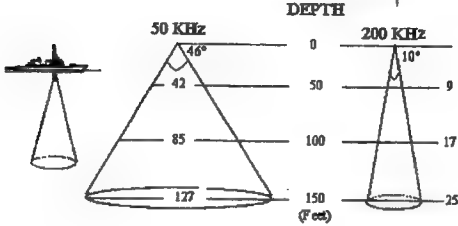
٢-٨ الترددات Frequencies

يعتمد نوع ومقدار التردد المستخدم في أجهزة قياس الأعماق على نوعية الأعماق التي يراد قياسها، بمعنى أنه إذا كان العمق كبيراً فإننا نحتاج إلى موجات ذات طول موجي كبير وطاقة عالية أي موجات ذات تردد منخفض، وبالتالي يمكن للموجة أن تنتشر إلى أعماق كبيرة وكذلك تقاوم الانخفاض أو التضائل في طاقتها والذي ينتج عن اصطدامها بعوائق صلبة أثناء انتشارها في القاع لعدة طبقات وفي النهاية تحدد عمق وشكل الطبقة العاكسة للموجات الصوتية في الماء؛ وفي الوقت الذي تمتاز فيه الموجات ذات الترددات المنخفضة بالميزات السابقة إلا أن الموجات الطويلة تتطلب مذبذب ذو حجم وطول كبيرين يتناسبان مع الموجة الطويلة كما نحتاج إلى عواكس ذات حجم كبير حتى يمكنها تركيز الطاقة في حزمة صوتية مركزة.

أما في حالة الأعماق الصغيرة فإنه يستخدم ترددات عالية يمكن توليدها بواسطة مذبذبات ذات أحجام صغيرة ومناسبة، وباستخدام الترددات العالية فإن الطول الموجي يكون صغيراً وتكون طاقة الموجة معرضة للفقد السريع في المياه أي أن معدل التضائل Attenuation يكون كبيراً ولملاحظاً. ويستخدم هذا النوع من الترددات في حالة الأعماق الصغيرة.

ويوضح الشكل (٢-٨) الفرق بين عرض الحزمة لمذبذب ذو ترددات منخفضة مقدارها ٥٠ ك/سيكل وعرض الحزمة لمذبذب آخر لردداته تبلغ ٢٠٠ ك/سيكل ومنه نستنتج أن الترددات العالية تغطي عرض حزمة ضيق يتفق واستخدامات القياس في الأعماق الصغيرة.

ومعظم أجهزة قياس الأعماق الحديثة تنتج ترددات عالية على شكل نبضات حتى يمكن خفض حجم وطول المذبذبات المستخدمة وكذا حجم وشكل العواكس الضرورية لتركيز الحزمة الصوتية في اتجاه قاع البحر.



شكل (٨-٢):

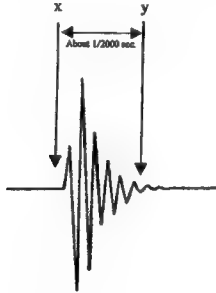
اختلاف عرض الحزمة باختلاف التردد من ٥٠ إلى ٢٠٠ ك/ذبذبة/ثانية

Pulse Duration and Shape

٨-٣ شكل ومدة النبضة

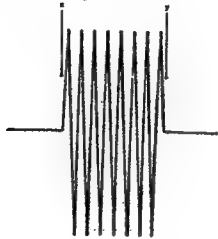
تقوم أجهزة جس الأعماق بالصدى بتوليد نبضات صوتية قصيرة إما أن تكون على شكل ذبذبة مماتة (متضائلة) أو ذبذبة غير مماتة (غير متضائلة) (Damped or Undamped). ويوضح الشكل (٨-٣) الذبذبة المماتة التي يولدها مولد الذبذبات (Oscillator) بجهاز الأعماق عند النقطة (X) عن طريق تعرض المذبذبات الهزازة (Transducer) لمجال مغناطيسي قوى متغير أو تيار كهربائي متغير لفترة زمنية قصيرة تناسب مع العمق، ثم يترك المذبذب يتذبذب تلقائياً وفقاً لذبذبه الطبيعية Natural Oscillation وينتج من خلال هذه الذبذبة طاقة الموجات الصوتية في الماء والتي تستخدم في قياس العمق؛ وتنتهي هذه الذبذبة تماماً أو توهت عندما تصل إلى نقطة (Y) وتصل الفترة العملية لهذه النبضة إلى حوالي (٠.٠٠٢) ثانية أو (٢٠٠) ميكروثانية.

وهذا النوع من الدبذبات من السهل توليده ولكنه شالبا لا يشتمل على طاقة عالية بل أن طاقته تكون محددة وتكفى فقط للحصول على صدى من القاع فى حدود أعماق لا تزيد عن ١٨٠٠ متر. فإذا كان معدل إرسال النبضات هو ٦٠ نبضة فى الدقيقة فإن الفترة الزمنية بين كل نبضتين متتاليتين هو ١ ثانية، وهذا يسمح بقياس أعماق حتى ٧٥٠ متر بينما يكون طول النبضة ٣٠ سم فقط (1500×0.0002).



شكل (٨-٣): الدبذبة العميقة

أما الدبذبة غير العميقة الموضحة بالشكل (٨-٤) فيتم توليدها أيضا بواسطة تعرض المذبذبات Transducers لمجال مغناطيسى قوى فى فترة يمكن تحديدها حسب طول النبضة المطلوبة وتوجه الدبذبات فى اتجاه البحر ويكون لها حينئذ طاقة أكبر من طاقة الدبذبة العميقة خلال فترة النبضة من النقطة (X) إلى النقطة (Y) وتتراوح فترة الدبذبة فى هذه الحالة من ٠,٠٠١ إلى ٠,٠٤ ثانية، ويمكن الحصول على أصدااء هذه الدبذبات من قاع البحر على أعماق تصل إلى حوالى ٩٠٠٠ متر عندما تكون النبضات المستخدمة طويلة إلى حد ما وتحتوى على طاقة عالية وتحسب الظروف الجيدة لانعكاس النبضة من القاع.



شكل (٨-٤): الدبذبة غير الممالة

وبلغ طول هذه النبضة حوالي ٠,٠٤ ثانية وهو ما يعادل (٠,٠٤ x ١٥٠٠) ٦٠ متر وهذا ما يقلل من كفاءة الجهاز في تمييز أو تحديد الأهداف وهو ما يطلق عليه Poor Definition غير أنه من القوة بحيث يصل إلى أعماق كبيرة بالبحار وتخرج الإشارة الصوتية على شكل حزمة أو شعاع Echo Beam.

فعند صدور الموجات الصوتية من المذبذبات في الماء فإنها تنتشر في جميع الاتجاهات، وبالمعنى فإنه ليس من المناسب أن نجعل طاقة النبضة تشتت في جميع الاتجاهات مما يبذل الطاقة التي تحتويها، لذا وجب علينا توجيه هذه الطاقة في حزمة يطلق عليها Beam أو شعاع مركز في اتجاه قاع البحر للحصول على العمق حتى أعماق كبيرة جداً وذلك بتزويد أجهزة تحديد العمق بالصدى بمواكس للطاقة لبثها في اتجاه واحد فقط وتكون على شكل حزمة من الطاقة في اتجاه قاع البحر.

ويعتمد عرض الحزمة The Beam Width على قطر السطح المذبذب وعلى التردد المستخدم، فإذا زاد تركيز الحزمة وأصبح الشعاع ضيقاً وموجهاً توجيهها دقيقاً في اتجاه القاع تزداد الطاقة وقدرة الجهاز على تمييز

الأهداف، ويتناسب عرض الحزمة طردياً مع التردد وعكسياً مع طول العاكس وفقاً للعلاقة التالية:

$$Bw^{\circ} = \frac{\lambda}{L} K$$

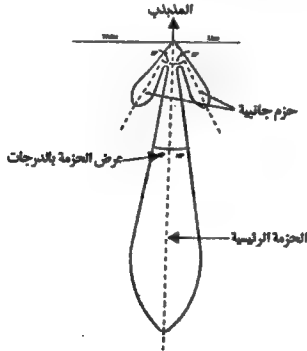
حيث:

Bw = عرض الحزمة بالدرجات

λ = طول الموجة

L = قطر السطح المذبذب

K = مقدار ثابت مقداره ٦٥ للمذبذب الدائري و ٥٠ للمذبذب المربع.



شكل (٥-٨): الحزمة الصوتية في الماء

ويوضح شكل (٥-٨) قطاع في حزمة صوتية تم إصدارها من مذبذب إصدار الموجات الصوتية وعرض هذه الحزمة ٩٠ تقريباً، وتتركز معظم طاقة النبضة في الخط المنصف للشعاع الذي يمكن تصويره على شكل مخروطي زاوية

رأسه مقدارها ٢٠°. ويوضح الشكل أيضا الحزمة الأساسية والحزم الجانبية لها وبالطبع فإن خارج الحزمة الموضحة في الشكل فإن الطاقة التي تحتويها النبضة تقل بسرعة كبيرة بحيث لا يكون لها تأثير ملموس. وبلاحظ وجود حزمة جانبية بجوار الحزمة الرئيسية وفي هذه الحزمة الجانبية Side Lobes يعود مرة أخرى تركيز الطاقة على زاوية مقدارها ٣٠° تقريبا. ولا يمكن الاستفادة من هذه الحزمة الجانبية بل إنها في بعض الأحيان تسبب أضدادا كالأبلة وتظهر بعض الأخطاء في تحليل بيانات مسجل الأعماق. ومما هو جدير بالذكر أن جميع العواكس التي تستخدم في تركيز شعاع الطاقة الصوتية في الماء ينتج عنها حزم جانبية قد تقل في طاقتها وفي زاوية انفرجها ولكنها بلا شك تظل أحد مصادر الأضداد والأهداف الزائفة على شريط تسجيل الأعماق والتي يجب معالجتها بحرص شديد.

ومن الواضح أن استخدام الدبذبة المماتة الموضحة في الشكل (٨-٣) أكثر سهولة في الحصول عليها من الدبذبة الغير مماتة الموضحة في الشكل (٨-٤)، ولذلك فإن معظم أجهزة جس الأعماق تقوم بتوليد الدبذبات المماتة. ومن ثم يجب التذكر أن النبضة الطويلة والتي تحتوي على عدد أكبر من الموجات الصوتية تحتوي على طاقة أكبر من النبضة القصيرة، ولذلك فإذا كان القرض هو قياس الأعماق الكبيرة فإن اختيار النبضة الطويلة يكون أكثر ملائمة من النبضة القصيرة أو عندما تكون السفينة معرضة للدرفلة الطويلة والعرضية بشدة، ولكن يجب ملاحظة أن النبضة الطويلة يعيها عدم وضوح الأضداد وهو ما يسمى Poor Definition.

وأجهزة جس الأعماق التي تستخدم الترددات العالية High Frequency والنبضة القصيرة والحزمة الضيقة تكون مناسبة جدا لأعمال المسح وقياس الأعماق في المناطق الضحلة وفي أعمال الضر وتوسيع الممرات الملاحية حيث تعطي نتائج إيجابية وتميز عالي للأهداف Good Definition ولكن يجب ملاحظة أن النبضات القصيرة لا تناسب أعمال المسح للأعماق الكبيرة.

وأجهزة جس الأعماق الكبيرة تعتمد دائما على النبضات الغير مماعة والتي تحتوي على طاقة كبيرة ويكون طول النبضة في حدود ٠,٠٤ ثانية أما الترددات فغالبا ما تكون في حدود ١٠ ك.هرتز أو أقل. أما عرض حزمة الشعاع فغالبا ما تكون كبيرة وقد تكون في حدود ٤٠ ٪ حتى تناسب مع حركة السفينة ودورلفتها طوليا وعرضيا. أما الأجهزة المتعددة الأغراض فإن تردداتها تكون في حدود ١٥ ك.هرتز وتكون الذبذبة مماعة وفترتها في حدود ٠,٠٠٢ ثانية وعرض الحزمة ٢٠ ٪ وهذه الخصائص تعطى نتائج جيدة جدا في رصد الأعماق وتمييزها جيدا.

يتوقف عرض الحزمة على شكل المذبذب، فإذا كان المذبذب دائري فإنه ينتج حزمة صوتية على شكل مخروط، أما إذا كان المذبذب مستطيلا فإنه ينتج حزمة قطاعها على شكل يضاوي يختلف فيه عرض الحزمة في اتجاه الطول عن عرض الحزمة في اتجاه العرض وتكون الحزمة ضيقة في مستوى قطر السطح المستطيل، ويمثل عرض الحزمة الصوتية درجة التركيز الصوتي الذي ينتجه المذبذب، فإذا كان المذبذب دائريا فإن عرض الحزمة يكون كالآتي:

$$Bw_0 = \frac{65\lambda}{d}$$

حيث:

$$\lambda = \text{طول الموجة}$$

$$d = \text{قطر السطح المذبذب.}$$

أما في حالة السطح المستطيل فإن عرض الحزمة يكون كالآتي:

$$Bw_0 = \frac{50\lambda}{L}$$

حيث (L) هو طول قطر المستطيل.

٨-٤ قياس الزمن وقياس الطور

جميع أجهزة جس الأعماق تقوم بحساب الفترة الزمنية بين إرسال واستقبال النبضة المرتدة من القاع وتقوم بحساب العمق بالعلاقة الرياضية المذكورة من قبل بفرض أن السرعة المتوسطة للصوت في الماء معروفة ومقدارها

١٥٠٠ متر/ثانية. ويتم تحويل الزمن المقاس أثوماتيكيا إلى مقياس العمق. وبالطبع فإن نتائج قياس الأعماق قد تحتاج إلى بعض التحشية أو بعض التصحيحات الواجب إضافتها والتي تعتمد على ظروف الرصد والجس. وتوجد بعض الطرق لبيان العمق اللحظي أسفل قارب المسح أو السفينة ويمكن استخدام أميتر أو جلفانوميتر ذو معايرة خاصة أو استخدام لمبة مضيئة على قرص دوار. ولكن في أعمال المسح البحري وجس الأعماق فإن احتياجات المساح أو الملاح تتطلب وجود جهاز للتسجيل حتى يمكن مراجعتها بعد إجراء أعمال الرصد البحري والتي يتم رصدها مع الزمن الذي رصدت فيه هذه الأعماق.

ويوضح الشكل (٨-٦) جزء من أحد مسجلات الأعماق، حيث تدور ريشة التوقيع المثبتة في نهاية ذراع دوار حول عجلة دوران موصلة بموتور يدور بسرعة منتظمة.

وتتلخص مبادئ هذا النظام من تسجيل الأعماق في أنه عندما تبدأ النبضة الصوتية فإن تيار كهربائي يمر من خلال ريشة القياس Stylus إلى السطح المعدني خلف سطح التسجيل الورقي، وعندما يصل إلى الجهاز صدى النبضة المرتدة من القاع فإنه سيولد تيارا كهربائيا مرئيا إلى ريشة التسجيل مرة أخرى.

وفي كلتا الحالتين أي عند بدء النبضة وعند استقبال الصدى من القاع فإنه تتولد شرارة كهربائية بين سن الريشة وبين السطح المعدني خلف لفة الورق المعالج كيميائيا فتحدث علامة على سطح الورق، وتكون المسافة بين كلا العلامتين أي علامة إرسال النبضة وعلامة استقبال الصدى متناسبة مع مقدار العمق أسفل الجهاز. فإذا كانت الريشة مثبتة في الذراع الذي يتصل بموتور ذو حركة منتظمة، ويدور هذا الموتور بسرعة منتظمة مقدارها لفة واحدة كاملة كل ١,٢ ثانية. وإذا كانت سرعة الصوت في الماء مقدارها ١٥٠٠ متر/ثانية فإنه أثناء الدورة الكاملة التي تصنعها ريشة التسجيل ستكون النبضة الصوتية قد انتشرت في الماء لمسافة تعادل ٩٠٠ متر.

$$D_{\max} = \frac{1}{2} t \times v$$

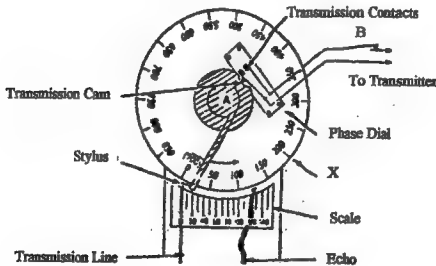
حيث:

D_{max} هي أقصى عمق يمكن قياسه.

$$D_{max} = \frac{1}{2} \times 1.2 \times 1500 = 900 \text{ m.}$$

وتعتبر العلاقة بين سرعة دوران ريشة التسجيل وسرعة الصوت في الماء وتدرج القياس لدورة كاملة من أهم العلاقات التي تحكم قياس عمق الماء بصفة مستقرة.

وتدور ريشة التسجيل Stylus عكس عقارب الساعة وعندما تصل إلى نقطة الصفر على قرص التدرج فإنها تفتح كامرة توصيل التيار الكهربائي لتوليد النبضة الصوتية المرسله وتحديث العلامة المرئية على سطح الورق أمام تدرج الصفر.



شكل (٦-٨): وحدة بيان الأعماق في أحد أجهزة القياس

وأثناء رحلة النبضة الصوتية في الماء من المدبذب المرسل إلى قاع البحر وليكن القاع في هذه الحالة على بعد ١٢٠ متر فقط - فإن ريشة التسجيل تكون قد دارت في اتجاه عكس عقارب الساعة مسافة تعادل هذا العمق فقط كما هو موضح في الشكل (٦-٨) بشرط ثبات سرعة الانتشار وبقيائها كما هي

١٥٠٠ متر/ثانية، وستكون ريشة القياس في مواجهة للتدرج ١٢٠ متر عندما تعود النبضة وتحدث علامة أخرى في ورق التسجيل وهذا يوضح عمق المياه في المنطقة. وبالمطابق إذا كانت سرعة الصوت الحقيقية أكبر من ١٥٠٠ فإن العمق المسجل سيكون أقل من العمق الحقيقي.

ويمكن للملاحين أو المستخدمين لأجهزة قياس الأعماق تعديل وضع سن ريشة التسجيل عند البداية ليأخذ في الاعتبار مقدار الفرق بين العمق الحقيقي والعمق المسجل لأي سبب من أسباب اختلاف كل منهما عن الآخر بحيث تقلل القراءة التي نحصل عليها من التدرج مساوية للعمق الحقيقي أسفل السفينة.

لذلك فإن تدرج القرص الخارجى يكون مساويا لقراءة مقدارها ٩٠٠ متر، وبالتالي يمكن تقسيم القرص الخارجى لعدد متساوى من الأجزاء، فعلى سبيل المثال ٩٠٠ جزء أو كل جزء يمثل ١ متر من الأعماق. ولكن إذا حدث أن سرعة الصوت في الماء ليست ١٥٠٠ متر/ثانية واختلفت قليلا نتيجة لتغير العمق أو الملوحة أو درجة الحرارة فإن الدورة الكاملة للموتور وبالتالي لريشة التسجيل لن تكون متساوية مع مقدار التقسيم الذى تم تدرج القرص عليه. فإذا زادت سرعة الانتشار إلى ١٥٥٠ متر/ثانية فإن أقصى عمق سيكون ٩٣٠ متر، ولكن نظرا لأن تدرج القرص مدرج إلى ٩٠٠ جزء فقط فإنه يصعب مقارنة ما تم تدرج القرص عليه. ولا يمكن تعديل تدرج القرص نتيجة التغير الذى حدث في قياس العمق نتيجة لتغير سرعة الصوت في الماء. ولكن يمكننا تغير سرعة الموتور وجعله يدور دورة كاملة في زمن أقل من ١,٢ ثانية وبذلك فإنه يمكن المحافظة على تدرج القياس لمقدار ٩٠٠ متر فقط فيتغير زمن الدوران.

$$t = \frac{2D_{\max}}{v} = \frac{2 \times 900}{1550} = 1.16 \text{ sec}$$

أي أن تعديل سرعة دوران الموتور يمكن أن يعادل التغير الحادث في سرعة انتشار الصوت في الماء.

ولمى المثال السابق فإن قرص التدرج قد تم تدرجه إلى ٩٠٠ جزء لقياس أعماق حتى ٩٠٠ متر، ومعنى ذلك أن كل دورة كاملة بربشة التسجيل تصنع عمقا مساويا ٩٠٠ متر أي أن:

$$150 \text{ m.} = 360 \times \frac{150}{900} = 60^\circ$$

أو

$$100 \text{ m.} = 360 \times \frac{100}{900} = 40^\circ$$

وحيث أن مساحة الورق المعرض للتسجيل مقيدة بعرض الشريط أو اللفة المستخدمة وأيضا بمقدار التدرج السفلي من القرص المقابل لعرض شريط الورق، يتضح أنه إذا كان العمق المقاس مقداره ٢٠٠ متر عند النقطة (X) فمعنى ذلك أنه لن يتم تسجيل هذا العمق لأنه خارج حيز لفة الورق المستخدمة فى التسجيل.

وعلى ذلك يجب عمل أطوار مختلفة للقياس بحيث يتناسب طول كل طور مع مقدار ما يمكن تسجيله على لفة الورق، فإذا كان شريط ورق التسجيل كما هو واضح من الشكل يمكن أن يبين أو يظهر أعماقا حتى ١٥٠ متر فإنه يتم تقسيم قرص التدرج الكامل إلى عدة أطوار كل منها يساوى ٦٠° أي تقسيم القرص إلى ٦ أطوار من صفر ومن ١٥٠ إلى ٣٠٠ ثم ٤٥٠ ثم ٦٠٠ ثم ٧٥٠ وأخيرا من ٧٥٠ إلى ٩٠٠ متر، فإذا كان العمق المتوقع قياسه يقع فى حدود ٣٥٠ متر فإننا نغير طور القرص بحيث يظهر فى الجانب السفلي منه الطور الجزئى الذى يوضح الأعماق من ٣٠٠-٤٥٠ متر.

وهكذا عندما يظهر صدى العمق على رقم ٣٥٠ متر فإنه يتسبب فى إحداث علامة كهربائية يمكن تسجيلها على لفة الورق التى تدور على بكرات زمنية تدور بسرعة منتظمة. أما إذا كان العمق غير معروف تقريبا فإننا نبدأ بالبحث عن العمق بواسطة تغير الطور فبدأ من الطور الأول ثم الثانى وهكذا حتى تظهر علامة العمق فنترك وضع الطور كما هو عليه ونتابع حركة علامة الأعماق التى قد تكون متزايدة أو متناقصة أو ثابتة، فإذا كانت متزايدة

وتوشك على الخروج من مقياس العمق الذى يتقابل شريط التسجيل فإننا نغير الطور إلى المرحلة التالية له أو العكس إذا كان العمق متناقصا. وفى جميع الأحوال عند تغيير حركة القرص لتغيير الطور فإنه يجب تسجيل الوقت الذى تم فيه هذا التغيير وتحديد علامة خارجية توضح عدم استمرار علامات العمق على مقياس الرسم السابق. ومعظم أجهزة قياس الأعماق التى تعتمد على كامرة دوران ولفات وشرائط ورق التسجيل يتواجد بها نظام تغيير الطور والذى يتراوح مقداره الزاوى بين 360° و 120° أي بين ٩ أطوار إلى ٣ أطوار فقط حسب عرض الشريط المستخدم فى التسجيل. وفى جميع الأحوال يجب عمل معايرة لقراءات الأجهزة المستخدمة والتأكد من دقتها قبل استخدامها فى تحديد الأعماق.

The Transmission Unit

٨-٥ وحدة الإرسال

تتكون وحدة الإرسال فى أجهزة الأعماق من ثلاثة أجزاء:

١- مولد الإشارات

٢- مفتاح التشغيل

٣- وحدة الدبذبة.

ويعمل مفتاح التشغيل على توصيل التيار الكهربى إلى مولد الدبذبات وهو عادة ما يكون من النوع الكهروميكانيكى، ويتحكم فى هذا المفتاح فى وحدة الإرسال الموصلة بين ريشة القياس وبين صفر التدرىج على قرص التدرىج. وإذا كان الجهاز يستخدم النبضة الغير مائة فإنه حينئذ يلزم توصيل هذه الوحدة مع وحدة تحكم النبضات ووحدة تكبير $Power Amplifier$ ، أما إذا كانت الطاقة المرسله صغيرة كما هو الحال فى الأجهزة المصممة لقياس أعماق بسيطة فإننا قد نستغنى بالكامل عن مفتاح التشغيل اعتمادا فقط على التوصيل بين الريشة والقرص ويقوم المدبذب Transducer باستقبال النبضة من مولد الطاقة الكهربى Electrically Energy الذى يحول هذه الطاقة الكهربائية إلى طاقة صوتية.

ويتم بالطبع تركيز الطاقة الصوتية في شعاع في اتجاه القاع عن طريق عواكس لهذه الطاقة.

وقد يكون المذبذب الذي يقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة صوتية مذبذباً مغناطيسياً أي ذو خاصية التخصر المغناطيسي أو مذبذباً ذو خاصية التخصر الكهربائي والذي يتوقف اختيار نوع المذبذب على تصميم الجهاز. ويمكن استخدام مصفوفة من هذه المذبذبات في بعض الأحيان من المذبذبات الحديثة لتركيز الطاقة في شعاع مركز في اتجاه القاع بدلاً من استخدام العواكس الصوتية التي تفقد جزءاً من الطاقة في عملية ارتباطها على السطح الداخلي للعواكس.

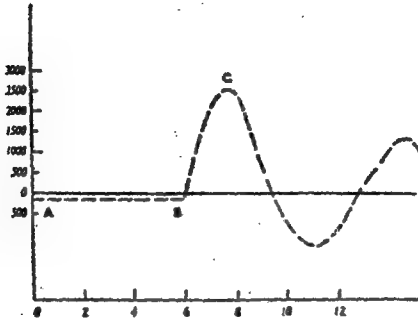
وجميع وحدات الإرسال في أي جهاز لقياس الأعماق تحتوي على مفتاح التشغيل Switching Unit ومولد الإشارة أو الدبذبة Signal Generator ومحول الدبذبة أو الطاقة الكهربائية إلى طاقة صوتية. ويمكن بالطبع تطبيق هذه المبادئ الأساسية لمكونات جهاز قياس الأعماق على أي من الأجهزة المستخدمة مع تنوع مصادر إنتاجها.

وتتكون وحدة التوليد الفجائية من دوائر بسيطة للتشغيل بواسطة تيار منخفض ١٢-٢٤ فولت ولكنها تولد ذبذبات متضائلة فقط ولذلك فإن هذا النوع من المولدات لا يمكنها توليد نبضات ذو طاقة عالية (شكل ٨-٧).

ويتضح من الشكل دائرة مكثف بسيطة والتي يصلها التيار الكهربائي خلال الموصلات (T) في وحدة الإرسال ويوضح الشكل البياني نتيجة التيار بين طرفي المكثف (Y, X)، فعندما تفصل الدائرة عند طرفي الملف (T) يتم شحن الدائرة بين النقطة (A) إلى النقطة (B) وعند النقطة (B) يكون المكثف قد تم شحنه تماماً بفرق الجهد عند طرفي الموصل والتي تصل إلى ١٠٠ فولت وعند اللحظة (B) تفصح الدائرة عند نقطة التوصيل (T)، وفي هذه اللحظة تقوم دائرة المكثف بتفريغ الطاقة الكهربائية التي خزنتها أثناء فترة الشحن وتصدر هذه الطاقة في لحظة بسيطة وينخفض فرق الجهد بين (Y, X) إلى الصفر وفي حوالي $\frac{1}{10}$ من الثانية يبلغ فرق الجهد أقصى مقدار له عند النقطة (C) ويبلغ حوالي ٢٥٠٠ فولت، ثم يترك بدون تدخل

فيتذبذب فرق الجهد في المكثف تلقائيا ذبذبة طبيعية كما هو موضح في الرسم البياني وحتى تمتص الطاقة في مجموعة المقاربات الموجودة بالدائرة، وهذه الذبذبة الطبيعية غير متضائلة أي أنها تستمر لفترة طويلة قبل أن تمتص طاقتها بالكامل خلال مجموعة المقاومات الموجودة بالدائرة. أما إذا أريد تصميم الدائرة لتوليد طاقة وذبذبة متضائلة فإنه عند اللحظة (c) والتي يبلغ فرق الجهد في دائرة التكتيف أقصى ما يمكن أي حوالي ٢٥٠٠ فولت، فإذا تم فصل الدائرة عن طريق المدبذب وفي التوقيت المناسب فإن جميع الطاقة الموجودة في مجموعة الصدمات سوف تنتقل إلى المدبذب وتسبب في توليد نبضة صوتية متضائلة.

وفي بعض الاستخدامات الخاصة فإنه يمكن أيضا تعديل التردد، وفي هذه الحالة فإن مقدار السعة Amplitude سيكون ثابتا بينما يقوم الجهاز بتعديل الذبذبة بالنسبة للزمن وفي هذه الحالة يجب أن يشتمل الجهاز على مدبذب Transducer مختلف ذو ذبذبة مختلفة وبذلك فإن تركيبات ومكونات الجهاز تزداد تلقائيا بزيادة عدد المدبذبات؛ وعادة لا تقوم الشركات المصنعة بإنتاج مثل هذه الأجهزة إلا إذا كان لها طلب خاص واستخدامات معينة، أما في حالة استخدامات مسح وجس الأعماق أو الملاحة البحرية فإن المولدات ذات تعديل السعة هي الأكثر استخداما وشيوعا.



شكل (٧-٨): وحدة توليد الطاقة

٦-٨ المذبذبات

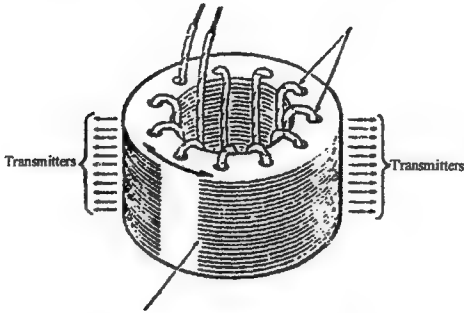
Transducers

المذبذب هو الوحدة المسؤولة عن تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة صوتية، وتستخدم بعض الأجهزة مذبذب واحد لكل من الإرسال والاستقبال حيث أن كلي منه له نفس الخصائص (مذبذب الإرسال ومذبذب الاستقبال). ومما هو جدير بالذكر أن وحدة الإرسال لا يجب توصيلها بمذبذب الاستقبال أو العكس، وفي حالة استخدام نفس المذبذب للإرسال والاستقبال فإنه يتطلب مفتاح خاص لفصل حركة ووقت الإرسال عن حركة ووقت الاستقبال. وتشغل جميع المذبذبات على إحدى خاصيتين طبيعيتين إما بواسطة التخمير المغناطيسي Magneto Striction أو التذبذب الكهربى Piezo Electric.

أولاً: المذبذبات ذو خاصية التخمير المغناطيسى Magnetic Striction Transducers

١- المذبذب الحلقى

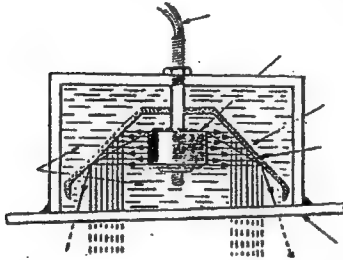
يوضح الشكل (٨-٨) أحد المذبذبات التى تعتمد على خاصية التخمير المغناطيسى الطبيعى والتى بموجبها تتذبذب بعض المواد النيكل أى يحدث لها اهتزاز عندما تتعرض لمجال مغناطيسى، ويتغير اتجاه الذبذبة إذا تغيرت أقطاب المجال المغناطيسى المؤثر على رقائق المعدن المتذبذب، ويوضح الشكل أحد المذبذبات المغناطيسية التى تتكون من رقائق من حلقات النيكل ويحتاج هذا النوع إلى تيار كبير مع فرق جهد متوسط حتى يمكن إصدار طاقة كبيرة للذبذبة الصوتية التى ينتجها فى صورة اهتزازات ميكانيكية، ولكن يعيب هذا النوع عدم استخدامه فى توليد الذبذبات العالية ذات الموجات القصيرة، وتعرض حلقات النيكل على شكل حزم متراصة ويمر بشكل عامودى عليها ملف مرن هزول وينزل من خلال فتحات حلقات المذبذب. فإذا مر تيار متردد داخل السلك الكهربائى الذى يحيط برقائق النيكل، فإن هذه الرقائق سوف يزداد طولها أو يزداد قطرها فى اتجاه الخارج؛ وعند عكس اتجاه التيار فإن الرقائق تكمنى مرة أخرى وهكذا... لأن مرور التيار الكهربائى فى السلك الملفوف حول النيكل سوف يتسبب فى إيجاد مجال مغناطيسى متغير الذى يؤثر بدوره على رقائق النيكل ويجعلها تهتز بشدة تتناسب مع شدة التيار المار فى الملف، وبذلك فإن هذه الاهتزازات هى التى تعمل على إصدار الموجات الصوتية المرغوب فى توليدها فى اتجاه القاع؛ ويبين اتجاه الأسهم بالشكل اتجاه حركة زيادة وانكماش حلقات المذبذب التى تستمر فى حركة ذبذبية ميكانيكية عالية، وكلما كثرت حلقات النيكل كلما زادت شدة الذبذبة المتولدة.



شكل (٨-٨): المذبذب الصوتي ذو الحلقات النيكل

وحتى يمكن توجيه طاقة الذبذبة في اتجاه قاع البحر وفي حزمة Beam أو شعاع ضيق يحتوى معظم الطاقة، فإن المذبذب يوضع تحت عاكس معدنى وسطحه الداخلى على شكل منحنى قطع مكافئ Parabola والتي من شأنها عكس وتجميع طاقة الذبذبات الصادرة في الاتجاه الأفقى وتحويلها إلى ذبذبات في اتجاه رأسى أسفل قاع السفينة. ويوضح الشكل (٨-٩) أحد المذبذبات المتناظرة ذو الحلقات وهو مثبت بقاع إحدى السفن ومثبت داخل ناقوس مخروطى أو عاكس بارابولا وكل من العاكس والمذبذب مثبتان داخل صندوق خاص أسفل القاع؛ وبملا هذا الصندوق أو الخزان بواسطة الماء العذب والذي يقلل من احتمال الصدا أو تلف المذبذب، وعندما يهتز المذبذب فإن الموجات الصوتية الصادرة عن هذا الاهتزاز أفقياً خارج مركز المذبذب، وعندما تصطدم بالسطح الداخلى للعاكس، فإن اتجاهها يتغير إلى

أسفل وتخترق غطاء الصندوق إلى قاع البحر. أما الموجات المرتدة فإنها تتحرك من قاع البحر إلى أعلى في اتجاه السفينة وعندما تصطم بالسطح الداخلي للعاكس فإنه يعكس الدبذبات المرتدة إلى اتجاه مركز الحلقات بطلاقة مركزة وبذلك تتذبذب حلقات النيكل ميكانيكياً.

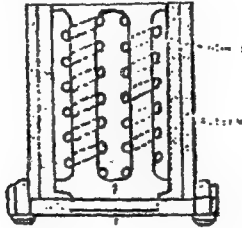


شكل (٨-٩): وضع وتثبيت المذبذب الصوتي المغناطيسي

ب- المذبذب الطولي

يتكون هذا النوع من المذبذبات من رقائق طويلة من النيكل معزولة عن بعضها كما هو مبين في الشكل (٨-٩). ويتم تثبيت أحد أطرافها بقاع السفينة مع ترك الطرف المقابل للقاع حر الحركة حتى يمكن أن تتركز الدبذبة في اتجاه واحد فقط؛ وتوضع هذه الدبذبات في وعاء يغطي بالكاثودش ويلف حولها ملف كهربائي لتوليد المجال المغناطيسي.

وبسبب هذا النوع من محولات الطاقة المغناطيسية أنه لا يمكن استخدامه مع الترددات العالية وبذلك يظل محصوراً للاستخدام مع الترددات المنخفضة ذات الموجات الطويلة والطاقة العالية.



شكل (٨-١): المذبذب الطولي من رقائق النيكل

Piezoelectric Transducers

ثانياً: المذبذبات الكهربائية

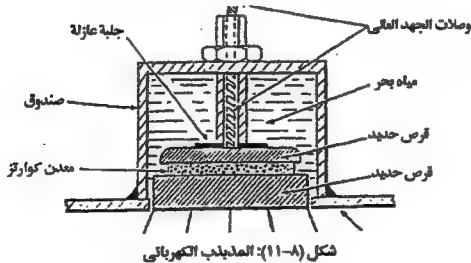
يوضح الشكل (٨-١) أحد محولات الطاقة الكهربائية التي تعتمد على خاصية التخصر الكهربائي؛ وتشغيل هذا المذبذب فإنه يجب توفير فرق جهد متغير عالى ولا يعتمد على وجود تيار عالى كما فى حالة المذبذب المغناطيسى، وهو يقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى اهتزازات ومن ثم طاقة صوتية خصوصاً فى حالة توليد الدبذبات العالية جداً (VHF)، ولكن حيث أن الدبذبات العالية هي التي تستطيع توليدها فإننا لا نتوقع قوة كبيرة لشدة أو سعة الموجات كما هو الحال فى حالة المذبذب المغناطيسى، ولذلك فإن هذا النوع من المذبذبات يفضل توصيله إلى الماء مباشرة دون حواجز كما هو الحال فى غرفة تثبيت المذبذب المغناطيسى وذلك حتى لا يفقد الطاقة البسيطة التي تحتويها.

ويتكون المذبذب من قرصين من الحديد (A, B) واللدان يحيطان بمعدن كوارتز مثل الموزايكو الذي يتم قطعه بطريقة خاصة حتى يغطي السطح ذو المركبات الحلقية (Crystals) ويتم ربط الطبقات الثلاثة جيداً، طبقة الحديد العليا وموزايك الوسطى والحديد السفلي

حتى يمكن ذبذبتها كوحدة واحدة، فإذا وصل فرق جهد عالى على القرصين (A, B) فإن مادة الكوارتز سوف يتغير حجمها مع كل تغير فى اتجاه فرق الجهد وبذلك فإن توصيل فرق جهد متغير على سطح المذبذب ينشأ عنه اهتزازات قوية يتبجحها الحشو الموزايلك الداخلى طبيعيا.

وبالطبع فإننا نحصل على أي قيمة للمذبذبة إذا توافقت الدبذبة الطبيعية Natural Frequency كوارتز مع ترددات فرق الجهد الموصل بالمذبذب، ويوضح الشكل اتجاه الدبذبات والاهتزازات التى توجه مباشرة فى اتجاه قاع البحر. أما الاهتزازات الصوتية المرتدة من القاع فإنها تصطدم بسطح المذبذب وتسبب اهتزاز الكوارتز، وبطريقة عكسية فإن هذه الاهتزازات تعمل على توليد فرق جهد متغير وصغير على كلا سطحي المذبذب (A, B) والتى يمكن استعارها كهربائيا.

وكل من المذبذب المرسل والمذبذب المستقبل لهما نفس الخصائص والتركيب ويمكن استخدام أحدهما مع الآخر أو استخدام مذبذب واحد فقط لكل من الإرسال والاستقبال.



ويعيب هذا النوع من محاولات الطاقة أن الترددات تكون عالية جدا وذلك تكون أطوال الموجات قصيرة وذات قوة صغيرة وبالتالي يكون صندوق التثبيت مفتوح على البحر مما يعرض محتوياته للصدأ وتراكم الحشيش البحري.

ويعتبر اختيار المكان الذى تثبت به المذبذبات بقاع السفينة من الأمور الهامة فى تسجيل الأعماق ويتوقف أساسا على نوع السفينة وحجم واستخدام جهاز جس الأعماق سواء فى الملاحة العادية أو المساحة البحرية. ويجب أن يكون مكان تثبيت المذبذبات بعيدا بقدر الإمكان عن أماكن التقلبات التى تحدث بجانب أو أسفل

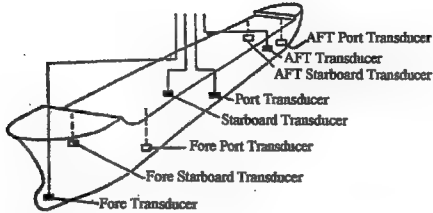
السفينة والتي قد تعرض لوجود الفقاعات الهوائية الناتجة عن حركة السفينة أو ضخ مياه الصابورة أو الدرتينة أو أماكن تفريغ مخلفات السفينة الأمر الذى يجعل الموجات الصوتية تتعرض لأوساط متباينة أثناء انتشارها فى الماء، كما يجب أن تكون المسافة العرضية بين كل من المذبذب المرسل والمذبذب المستقبل كافية حتى لا تتداخل إشارات الإرسال مباشرة مع دائرة الاستقبال، وفى حالة وجود مذبذبين أحدهما للإرسال والآخر للاستقبال فإنه يفضل وضعهما فى قاع السفينة عند منتصف طولها تقريبا. وأحيانا توضع المذبذبات فى المقدمة فى السفن الطويلة حتى يمكن قياس العمق عندما تدخل أو تقترب مقدمة السفينة من الأعماق الضحلة أثناء الملاحة العادية وهو أيضا ما يناسب السفن الصغيرة الحجم حيث يفضل إبعاد موضع المذبذبات عن مكان الأماكن وأجهزة الدفع.

وفى السفن الكبيرة أو سفن الركاب فيمكنها وضع مذبذب واحد فى كل من المقدمة والمؤخرة ويعمل كل منهما كمرسل ومستقبل، وفى هذه الحالة تتمكن من معرفة الأعماق عند مقدمة السفينة وكذا الأعماق عند مؤخرة السفينة، أو يمكن وضع مذبذبات مزدوجة فى منتصف السفينة وأخرى فى مقدمة السفينة لهذا الغرض. ويوضح

الشكل (٨-١٢) بعض الاختيارات فى تحديد أماكن تثبيت المذبذبات.

■ ALTERNATIVE 1

□ ALTERNATIVE 2



شكل (٨-١٢): أماكن تثبيت المذبذبات فى السفن الكبيرة

Record Indicator Unit

٧-٨ وحدة البيان والتسجيل

تتكون وحدة بيان الأعماق من مجموعة الأجزاء التالية:

أولاً: موتور التسجيل ووحدة التحكم

يعمل هذا الموتور على نوع من أنواع التيار الثابت أو المتغير، وسواء كان التيار المنفذ على أعلى أو منخفض فإن المطلوب هو سرعة منتظمة لدوران الموتور. ويتم توصيل الموتور ذو التيار المستمر بمنظم لامركزي Centrifugal Governor حتى تحصل على سرعة منتظمة؛ ويمكن تغيير سرعة الموتور يدوياً لأغراض التصحيح والمعايرة بواسطة مفتاح تحكم خاص عند إجراء أعمال الصيانة أو التصحيح لمطابقة سرعة دوران الموتور مع سرعة انتشار الصوت فى الماء والتي تتغير وفقاً لظروف الحرارة والملوحة والضغط.

وعموماً فإن أجهزة التسجيل الجيدة الصنع تحافظ على سرعة دوران الموتور وانتظامها على الوضع المناسب لسرعة الصوت فى الماء.

ويجب على المساح مراجعة هذه السرعة والتحقق من انتظامها أثناء الجسّ علماً بأن رداة فرشاة التوصيل ووجود الوميض الشديد Sparking والتغير الجائي في فرق الجهد الواصل إلى الموتور يسبب اختلاف وتغير في سرعة الموتور وبالتالي عدم دقة البيانات التي يظهرها المسجل، ونلاحظ أن وحدة البيان سوف تظهر لنا بعض النقاط السوداء أو الأصداء الكلاية المتناثرة رغم وجود قناع مستوى ورغم انتظام خط الإرسال Transmission Line وتكثر هذه الشوشرة Ripples في الأعماق الكبيرة عنها في الأعماق الصغيرة. وتقوم أجهزة جسّ الأعماق بوضع بعض التركيبات الإلكترونية Tachometer لقياس سرعة دوران الموتور وانتظامها واكتشاف أي خلالات أو تذبذب في سرعته.

وجميع أجهزة التسجيل تتصل بإبرة الاحتكاك Stylus أو ريشة البيان أو ذراع متحرك عن طريق مجموعة التروس والكامات المثبت بالموتور وتقل الحركة إلى الريشة مباشرة وبسرعة منتظمة، وأفضل الطرق لقياس انتظام دوران الموتور هو مقياس دوران الذراع المثبت به الريشة بواسطة ساعة إيقاف دقيقة ومطابقة للزمن بالسرعة المناسبة للموتور.

وتوجد أنواع أخرى من أجهزة التسجيل التي تعتمد على إضاءة لمبة نيون عندما ترد النبضة المنعكسة من القاع وتعطى بيان لحظي لمقدار العمق على قرص أو اسطوانة مدرجة تمثيلها Analogue ولكنها لا توفر تسجيلاً للأعماق في الأزمنة الماضية؛ ويمكن أيضاً استخدام أجهزة البيان الرقمية التي قد تعمل مع اللبة النيون أو شريط التسجيل في آن واحد. وتتميز وسائل العرض الرقمية Digital بإظهار العمق مباشرة ومرور الإشارة على وحدات تخفيض الشوشرة Suppression Units.

ثانياً: مجموعة تروس الحركة

من المهم وجود مجموعة تروس الحركة فى وحدة التسجيل حتى يمكن تغير سرعة دوران ذراع ريشة البيان وفقاً للعمق المراد قياسه، وتجهز مجموعة تروس الحركة Gear Box بواسطة مفتاح يمكن الملاح من تغير سرعة دوران ذراع ريشة البيان بدون تغير فى سرعة الموتور، وعادة ما تكون هناك سرعتان البطيئة منها تستخدم عند قياس الأعماق الكبيرة والسريعة منها لقياس الأعماق الصغيرة. وعند وضع سرعة دوران ذراع التسجيل على السرعة البطيئة فإن الفترة الزمنية بين إرسال النبضات تكون كبيرة كما يسمح بنبضة طويلة وكافية للإشارة الصوتية أن تصل إلى الأعماق الكبيرة وترتد مرة أخرى إلى السفينة.

أما حركة ورق التسجيل Recording Paper فإنها تتم فى اتجاه عمودى على حركة ذراع ريشة التسجيل، ويتحرك شريط التسجيل وفقاً لسرعات يختارها المساح مناسبة للبيانات التى يريد إظهارها وفقاً لسرعة السفينة. وعادة ما يوجد مقياس مدرج حتى يمكن مقارنة المسافة التى يتحركها الشريط الورقى مع الزمن ويتم مقارنة المسافة التى تحركها الشريط مع الزمن لأغراض مطابقة الزمن مع العمق مع الموقع. وبالطبع فإن دوران شريط التسجيل ببطء سوف يخفف من استهلاكه غير أن السرعة العالية للتسجيل سوف تعطى بيانات جيدة فى حالة مقياس رسم الخريطة الكبير، وتستخدم السرعة الكبيرة لمروور شريط التسجيل فى حالة تشخيص الأخطاء والأصداء التى ترد إلى الجهاز بمقياس رسم أكبر.

ثالثاً: ذراع ريشة التسجيل

The Stylus Carrier

يثبت الذراع الدوار الذى يحمل ريشة التسجيل على عمود الكاميرات الذى يتصل بالموتور عن طريق مجموعة التروس. وفى حالة استخدام الورق الجاف فإن الريشة تتكون من سلك معدنى قصير على شكل ياي مثبت فى نهاية الذراع الدوار وهي معرضة

لتتلف نتيجة للشرارة التى تتولد منها وبين السطح المعدنى الملامس لها خلف شريط التسجيل ويجب تغييرها على فترات إذا قلت كفاءة التلامس بينهما.

رابعاً: شريط التسجيل Recording Paper Roll

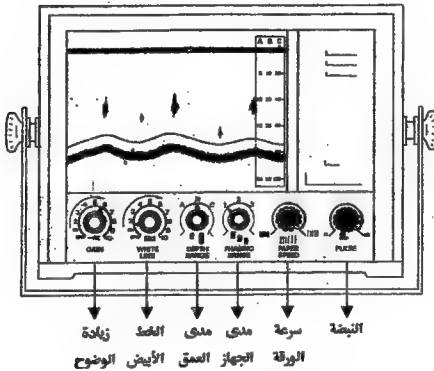
يستخدم الورق الحساس فى شرائط ولقحات فى أعمال المساحة لتسجيل الأعماق على فترات طويلة، وتختلف أجهزة تسجيل الأعماق حسب الشركة المصنعة وحجم وتصميم الجهاز. وعادة ما تكون أجهزة التسجيل قادرة على بيان الأعماق بدءاً من ستهمترات حتى تصل إلى ٢٪ من مساحة الشريط وكانت معظم أجهزة قياس الأعماق فيما مضى تستخدم الورق الرطب (Damp Paper) المعالج كيميائياً بواسطة أيودايد البوتاسيوم والتى تترك علامة بنية اللون عندما تتعرض لتيار كهربائى.

ورغم أن الورق الرطب قد استخدم لفترة طويلة غير أنه يعيبه الآتى:

- أ- عادة ما تتكشى أشرطة التسجيل من هذا النوع عندما تتعرض للقطاف.
- ب- عادة ما تبهت حواف اللثة عندما تتعرض لأشعة الشمس ولا يظهر عليها علامات أصداء القاع.
- ج- تختلف كفاءة وجود التسجيل من نوع لآخر من الورق الرطب.

هذا النوع من الورق قد تم تغييره بالكامل وأصبحت معظم أجهزة التسجيل تستخدم الورق الجاف Dry Paper وهو مكون من شرائح من الورق البهض والأسود المضغوط سوياً، وقد تكون الشرائح السوداء إما من الخلف أو من منتصف شريحتين من الورق الأبيض، فعندما يمر التيار الكهربائى على سطح الورق البهض فإنه يحترق بسرعة ويظهر الورق الأسود ليحدد مكان العمق على اللثة. ويعيب هذا النوع من الورق أنه غير حساس للإشارات الضعيفة ولذلك يجب

وجود مكبرات إضافية للنبضات المرتدة حتى يمكنها توليد تيار كهربائى قدره على حرق الشرائح البيضاء من اللقافات تاركاً مكانها لظهور الشرائح السوداء. ومن جهة أخرى فإن السورج الجاف لا يتكسب ولا يبهت لونه كما أنه غير ضار بالصحة عند ملامسته للأيدى. ويوضح الشكل (٨-١٣) نموذج لأحد أجهزة قياس الأعماق وأهم مفاتيح التحكم به.



شكل (٨-١٣): مفاتيح التحكم الرئيسية بأجهزة قياس الأعماق

٨-٨ أخطاء قياس الأعماق Echo Sounder Measurement Errors

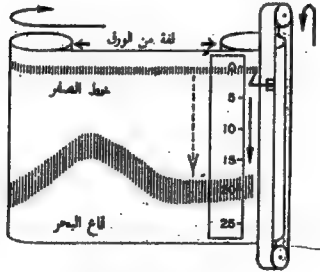
من الضروري قبل إجراء عمليات جسي الأعماق أن تقوم بمعايرة الأجهزة المستخدمة بعد تثبيت المدبذبات فى أماكن عملها وبعد وضع بالى الوحدات فى محل التشغيل العادى وذلك لمطابقة القياسات التى تحصل عليها من الجهاز المستخدم مع الأعماق الحقيقية التى تقوم بقياسها، ويجب

أن نلاحظ أن هناك عدد من الإضافات التي يمكن وضعها في الحسابات حتى نحصل على العمق الحقيقي. كما أن هناك بعض الاختلافات في القراءات التي يكفى التعرف عليها، وقد تؤخذ في النهاية كمحصلة إضافية لتصحيح العمق المسجل وتوضح فيما بعد الأخطاء التي قد تظهر لتلي بعض الأخطاء التي قد تظهر عند التشغيل وإيضاح أسبابها ثم التوصيات التي من شأنها تقليل الخطأ أو إضافة التصحيح النهائي للتسجيل.

Index Error

أولاً: خطأ المؤشر

عندما لا ينطبق صفر التدريج مع خط الإرسال Transmission Line سواء لخطأ في ضبط وتركيب لفات ورق التسجيل أو لتأخر بيان النبضة المرسل على وحدة البيان فإن الفرق بينهما يسبب خطأ ثابت يضاف أو يخص من قيمة العمق المقاس. ويوضح الشكل (٨-١٤) أين يقع خطأ المؤشر.



شكل (٨-١٤): خطأ المؤشر

ومن الصعوبة بما كان عملياً تحديد نقطة الإرسال والاستقبال، فعندما يطلق المدبذب طاقة النبضة الصوتية فإن جزء من هذه الطاقة ينتقل

إلى جهاز الاستقبال عبر طريقتين: الأولى سريعاً خلال حديد ومنشآت البدن والثانية خلال المياه المجاورة لكل من المذبذب المستقبل والمرسل.

وعندما ترد النبضة من القاع فإن الصدى سوف يولد خط ظهور الأعماق والذي يجب أن يظهر مدى العمق أسفل السفينة. فعندما تصل مقدمة النبضة فإنها تنشط دائرة الاستقبال وتسبب في إظهار أصداء للعمق قبل وصول الطاقة الفعلية للنبضة المرتدة، وبذلك فإن العمق الذي يظهر يكون أقل من العمق الحقيقي. وفي جميع الحالات يجب معايرة خط البيان الأول بالنسبة لفاطس أو عمق المذبذب في المياه بحيث تأخذ في الحسبان مقدار الفاطس ويكون العمق المدون على المسجل هو عمق المياه من سطح البحر وحتى القاع. ويستخدم لذلك معايرة الجهاز بواسطة قالم معايرة Calibration Check Bar.

ثانياً: الخطأ الهيدرو للمذبذبات Separation Error

يوضح الشكل (٨-١٥) حالة تثبيت للمذبذبات على فاصل عريض بينهما مسافة (S)، فإذا كان المذبذب على عمق (d) من قاع البحر فإن العمق الكلي للماء بعد إضافة فاطس السفينة (h) يصبح:

$$\text{Water Depth} = d + h$$

مع ملاحظة الفرق بين فاطس السفينة وفاطس المذبذب الذي قد يختلف عنه بحوالى ٣٠ سم عندما يكون المذبذب داخل وعاء بقاع السفينة.

وحيث أن العمق الحقيقي (D) = d + h بينما العمق المسجل (r) وهو العمق المائل نتيجة إرسال واستقبال النبضات، وبذلك فإن العمق المسجل يكون أكبر من العمق الحقيقي ويكون الخطأ الجانبي مقداره:

$$\sigma_g = (r + h) - (d + h)$$

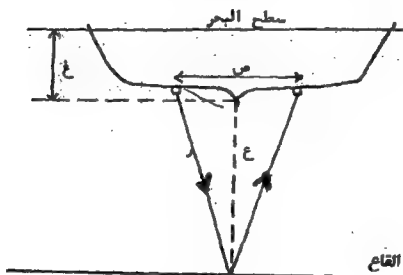
$$\therefore \sigma_g = r - d$$

$$= r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{S}{2}\right)^2}$$

حيث:

-r = العمق الظاهري أسفل المدبذب والمسجل على وحدة البيان.

-S = الفاصل الأفقي بين المدبذبات.



شكل (٨-١٥): تحديد مقدار الخطأ الجانبي

ومن الملاحظ أن الخطأ الجانبي يزداد كلما قل العمق ولا يمكن أن يزداد مقداره عن نصف المسافة بين المدبذبات. أما إذا كانت المسافة بين المدبذبات كبيرة زاد هذا الخطأ وعلى نفس الوقت إذا قلت المسافة بينهما يزداد مقدار تداخل الطاقة المرسله مع السفينة. ويجب معالجة خطأ فصل المدبذبات قبل إجراء أعمال المسح البحري. ففى أعمال المسح نفرض الحضر والتعدين يكون خطأ الفصل على جانب كبير من الأهمية، وأيضا عند تحديد عمق ممر

ملاحى خاصة عندما تكون قيمة العمق أسفل المدبذب فإنها تكون أقل كثيرا من المسافة بين المدبذبات ولذلك فإننا نتوقع خطأ كبير أيضا، أما فى حالة الملاحة بعيدا عن الساحل فعندما تكون الأعماق كبيرة وتزيد عن ٣ أضعاف المسافة الأفقية بين المدبذبات فإن خطأ الفصل يكون صغيرا.

Settlement and Squat

ثالثا، انغمار المركبة

تسبب حركة السفينة الانخفاض مستوى الماء تحت السفينة (Squat) ويتوقف هذا التأثير على العمق أسفل السفينة وشكل البدن وسرعة السفينة فى الماء ولكنه لا يغير من مقدار الانخفاض بل يتسبب فى ظهور الأعماق المسجلة أقل من العمق الحقيقى لمستوى سطح الماء. ولكن هذا التأثير يكون ذا قيمة إذا كان العمق أقل من سبعة أضعاف الانخفاض، فإذا كان الانخفاض ٢ متر فإن تأثير الانخفاض يظهر عندما يكون العمق ١٤ متر ويزداد هذا التأثير كلما قل مقدار العمق. كما يتسبب انخفاض Squat أيضا فى زيادة ميل السفينة الطولى أى زيادة غاطس المؤخرة بقيمة تتناسب مع طولها وشكل البدن وسرعتها، فإذا كانت المدبذبات من جهاز الأعماق مثبتة قرب نقطة التعادل أو مركز الدرفلة الطولية فإن تأثير Squat عليها يكون صغيرا، أما إذا كانت المدبذبات مثبتة بالقرب من مؤخرة السفينة فإن تأثير Squat يكون أكبر ما يمكن ويجعل العمق المسجل أقل من العمق الحقيقى للمياه.

Echo Sounder Calibration

٨-٩ معايرة جهاز الأعماق

بعد إجراءات التصحيحات الضرورية السابقة الذكر وهي خطأ المؤشر والخطأ النسبى وتأثير الانخفاض، فإن الأعماق التى تسجلها أجهزة القياس تظل متأثرة بثلاث عوامل هامة وهي:

- ١- خطأ المؤشر Index Error
٢- سرعة الصوت في الماء Speed of Sound in Water
٣- سرعة دوران ريشة التسجيل.

والخطأ الأول هو من التصحيحات التي يجب إضافتها لجميع الأعماق التي نحصل عليها من الجهاز بعد إجراء المعايرة اللازمة وتحديد قيمة هذا التصحيح، أما كل من سرعة الصوت في الماء وسرعة دوران ريشة التسجيل فكلاهما مرتبطان ببعض بالعلالة التي تحدد قيمة العمق $tv \frac{1}{2}$ ، ففي الواقع فإننا نفترض أن سرعة الصوت ثابتة وعلى ذلك تقوم بتفسير قيمة الزمن (t) أو قيمة السرعة التي تدور بها ريشة التسجيل بحيث يكون الناتج هو العمق الحقيقي، وعملياً فإننا نفترض ثبات سرعة الصوت أما قيمة الزمن (t) فإنه يمكن تعديلها بتغير سرعة دوران ريشة التسجيل لتعويض الاختلاف الناتج من السرعة الفعلية للصوت والسرعة الافتراضية له. ويمكن لأجهزة جيب الأعماق -التي تستخدم في قياس الأعماق التي تقل عن ١٨٠ متر- أن يتم معايرتها بواسطة Bar Check بدون الحاجة لمعرفة سرعة الصوت في الماء.

أولاً: معايرة سرعة الصوت في الماء

بينما ينتشر الضوء في الوسط المناسب له على موجات عرضية Transverse Waves حيث تكتسب الدبذبة في حركة رأسية عمودية على اتجاه الانتشار مثل موجات البحر حيث تتحرك الموجة أفقياً في حين أن جزيئات الماء تتحرك رأسياً، فإن الموجات الصوتية تنتشر على شكل موجات طويلة وتأخذ الدبذبة حركتها في نفس المستوى الذي تنتشر فيه طاقة الموجة أي أن كل من حركة الدبذبة واتجاه الانتشار يكونان في نفس الاتجاه حيث تضغط وتخلخل الموجات. ويمكن تشبيه حركة الموجات الصوتية مثل الحركة الدودية حيث يكون كل من تضغط وانفراج جسم الدودة في اتجاه حركتها الكلية.

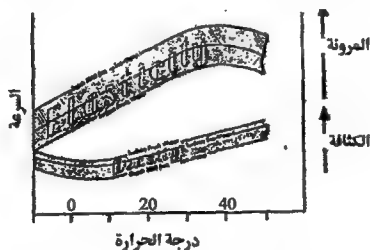
وتعتمد سرعة انتشار الصوت في الوسط على مقدار مرونة الوسط Elasticity، كما تعتمد على كثافة الوسط Density. وترتبط سرعة الصوت بعلاقة طردية مع مرونة الوسط فكلما زادت المرونة كلما زادت السرعة: $V \propto \text{Elasticity}$.

في حين تتناسب سرعة الصوت عكسياً مع كثافة الوسط، فكلما زادت الكثافة تقل سرعة الانتشار عن درجة مرونة ودرجة حرارة معينة وتزداد السرعة طردياً مع مرونة الوسط: $V \propto \frac{1}{\text{Density}}$.

وعادة ما يكون تأثير المرونة على سرعة الصوت أكبر من تأثير الكثافة، ومن الواضح أن كل من المرونة والكثافة في الماء مرتبطان مع بعضهما ويعتمد كل منهما بنسب مختلفة على العوامل الثلاثة الآتية: درجة الحرارة، الملوحة، والعمق.

$$\left[\frac{\text{Elasticity}}{\text{Density}} \right] \propto \begin{bmatrix} \text{Temperature} \\ \text{Salinity} \\ \text{Depth or Pressure} \end{bmatrix}$$

ويوضح الشكل (٨-١٦) العلاقة بين كل من الزيادة في سرعة الصوت والزيادة في المرونة والكثافة وتأثير كل من العاملين السابقين على سرعة الصوت.

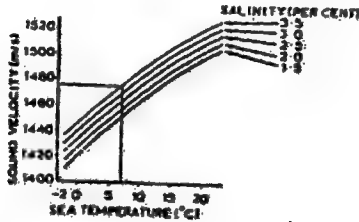


شكل (٨-١٦): العلاقة بين سرعة الصوت وكثافة ومرونة الماء

ونلاحظ من الشكل أنه كلما زادت درجة الحرارة كلما زادت المرونة وبالتالي زادت سرعة الصوت حتى تصل الحرارة إلى 40°C فتبدأ كل من المرونة والسرعة في الانخفاض القليل. كما يوضح الشكل أيضاً أن زيادة الملوحة والعمق يعملان على زيادة المرونة. وحيث أن أقصى قيمة لكثافة المياه عند درجة 4°C فإنه عندما تتغير الكثافة في أي اتجاه من نقطة أعلى قيمة فإنها تتسبب في زيادة سرعة الصوت. وعند السطح تكون درجة الحرارة مرتفعة نسبياً غير أن العمق أو الضغط يكون منخفض ولذلك يمكننا تصور أن سرعة الصوت تكون مرتفعة نسبياً وعندما يزداد العمق فإن درجة الحرارة تنخفض ويزداد الضغط وتكون المحصلة النهائية بين خفض درجة الحرارة وزيادة الضغط أن تقل السرعة مع زيادة العمق وتصل أقل قيمة للسرعة عندما تستقر درجة الحرارة ولا تتغير بزيادة العمق. وبالتبع فإن محاولة ربط العلاقة بين تغير كل من الملوحة وتغير العمق وتغير درجة الحرارة يعمل على تعقيد التأثير النهائي على سرعة الصوت في الماء، إذ أنه من الواضح أنه عندما تنتشر النبضة الصوتية إلى قاع البحر وتعود مرة أخرى إلى السطح فإنها سوف تكتسب سرعات مختلفة في حين أننا نفترض ثبات سرعة الصوت في معادلة إيجاد العمق الحقيقي.

لذلك فإنه يهتما معرفة السرعة المتوسطة حتى يمكن حساب العمق الحقيقي للماء. ويمكن قياس سرعة الصوت في الماء مباشرة باستخدام أجهزة قياس السرعة (Velocitymeter) وذلك بإثارتها إلى الماء وتحديد السرعة الفعلية في منطقة المسح؛ وإذا لم تتوافر أجهزة قياس سرعة الصوت في الماء فإنه يتم تقدير هذه السرعة بالعلاقات الرياضية التي تحكم العلاقة بين كل من درجة الحرارة والملوحة والضغط أو العمق، وفي حالة عدم وجود قياسات لدرجة الصوت فإنه يتم استخدام السرعة المتوسطة التي تبلغ 1500 متر/ثانية عند درجة ملوحة مقدارها 3.4% وعند درجة حرارة 16°C على سطح البحر وهذه هي السرعة المتوسطة الحسابية التي يصمم عليها الجهاز،

وواضح أنه إذا اختلفت سرعة الصوت في الماء عند تلك السرعة الحسائية فإن العمق الظاهري سوف يختلف عن العمق الحقيقي بنفس النسبة بين السرعة الحسائية والسرعة الفعلية. ولأغراض ملاحية السفن فإن تحديد سرعة الصوت في الماء يمكن استنتاجها من المنحنيات الموضحة في الشكل (٨-١٧) والتي توضح العلاقة بين التأثير في سرعة الصوت والتغير في درجة الحرارة عند كل درجة تركيز من الملوحة.



شكل (٨-١٧): العلاقة بين درجة الحرارة والملوحة وسرعة الصوت في الماء

وعموماً فإن الاختلاف في السرعة نتيجة للتغير في الملوحة عادة ما يكون صغيراً إلا في حالة انتقال السفينة من مياه مالحة إلى مياه عذبة وفي هذه الحالة سيقل العمق الحقيقي عن العمق الظاهري والذي يتم حسابه وفقاً لسرعة الصوت الحسائية والذي يزيد بمقدار ٢٪ تقريباً عن العمق المسجل.

أما في الأعماق الكبيرة فإن السرعة تزداد بمقدار ١,٨ متر/ثانية لكل ١٠٠ متر من عمق الماء غير أن تأثير الحرارة والملوحة يكونان أكبر من تأثير الضغط أو العمق فإذا تم تقدير السرعة الفعلية للصوت في الماء فمن العمق الحقيقي يمكن حسابه كالآتي:

$$\frac{\text{السرعة الفعلية}}{\text{السرعة الحسابية}} \times \text{العمق الظاهري} = \text{العمق الحقيقي}$$

أما المعادلة العامة لحساب سرعة الصوت في الماء فهي كالآتي:

$$V_0 = 1449.3 + 4.57 T - 0.45 T^2 + 0.016 D + 1.4 (s - 35)$$

حيث:

V_0 = سرعة الصوت في الماء (متر/ثانية)

T = درجة الحرارة المئوية

D = العمق بالمتر

s = الملوحة.

ثانياً: معايرة سرعة دوران ريشة التسجيل Calibration of Timing

يمكن قياس سرعة دوران ريشة التسجيل بعدة طرق ومنها زمن الدورة الواحدة التي يجب تعديلها وضبطها لتعويض الزيادة أو النقص في سرعة الصوت عن السرعة الحسابية، وتزود بعض أجهزة قياس الأعماق بأجهزة لقياس السرعة Tachometer، ويمكن للقائم بأعمال المساحة قياس الزمن الكلي لعدد من اللفات ومنها يمكن حساب زمن دورة واحدة وذلك بساعة إيقاف دقيقة وكلما زاد عدد اللفات كلما قلت نسبة الخطأ في حساب زمن الدورة الواحدة.

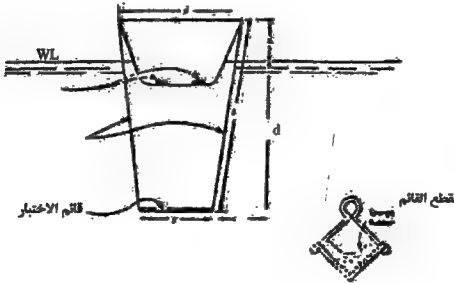
ويمكن -إذا ما ثبت أن هناك ضرورة لتعديل سرعة الدوران لتعويض سرعة الصوت- فإنه يمكن تغيير هذه السرعة بواسطة ضبط مفتاح التحكم في سرعة الموتور بالزيادة أو بالنقص ثم يتم حساب اللفة المطلوب بالتجربة والمحاولة حتى نحصل على سرعة دوران الريشة المطابقة للسرعة الفعلية للصوت والذان معا يعطيان العمق الحقيقي والفعلي للماء.

The Bar Check

٨-١٠ قائم الاختبار

يعتبر استخدام قائم الاختبار لتصحيح الخطأ الناتج من جهاز قياس الأعماق من أفضل الطرق لتصحيح في أعمال المساحة الساحلية وبالموانئ والأماكن الضيقة حيث تغطي نتائج مباشرة وقيماً للتصحيح يمكن إضافتها مباشرة على قراءات جهاز التسجيل للأعماق. وقد تستغرق عملية المقارنة من ١٠ دقائق إلى ساعة كاملة ولكنها في النهاية تغطي نتائج إيجابية مضمونة. ويراعى عند استخدام قائم الاختبار أن تكون الظروف الجوية مساعدة أي يكون البحر هادئاً مع عدم وجود رياح شديدة وأن يكون العمق أكبر من ٣٠ متر.

ويتكون قائم الاختبار من قائم على شكل زاوية قائمة ويتم إنزاله إلى عمق معلوم تحت المدبذب، وكلما كان عرض قائم الاختبار مساوياً لعرض القارب فإن التصحيح الذي يضاف على العمق الظاهري سيكون دقيقاً، أما إذا اختلف طول القائم عن عرض القارب فإن حبل الإنزال لن يكون حوئند رأسياً. ويوضح الشكل (٨-١٨) وضع قائم الاختبار بالنسبة لقارب المسح، كما يوضح الشكل قطاع في القائم الذي يجب توجيهه إلى قاع القارب حتى نحصل على أفضل أصداء مرتدة منه.



شكل (٨-١٨): قطاع قائم الاختبار وطريقة تعليقه

أولاً: تجميعات القوائم للاختبار Bar Check Equipment

يتكون القوائم من مقطع بزاوية ٩٠° توضع في الاتجاه المقابل لقاع المسح كما يوضح الشكل وضع القوائم من أسفل القارب والذي يُدلى بواسطة جبلين من أجناب القارب ويتم قياس الأطوال التي يتم إنزالها من الجبال بدقة.

ويتكون القوائم من قطاع معدني زاوي ويُبطن السطح الداخلي له بمادة يفضل أن تحتوي على نسبة كبيرة من الهواء المصبوس مثل الإسفنج أو الفلين الصناعي أو مادة رغوية صناعية بسمك ١,٥ سم تقريباً، وبذلك يمثل عاكس جيد للموجات الصوتية ويجب أن يكون القوائم مساوياً لعرض القارب المستخدم ويجب أن يكون القطاع العرضي للقوائم كبيراً حتى لا يتعرض القوائم للانحناء أثناء تعليق أو نقله ولذلك فإن القوائم التي تستخدم للمعايرة من السفن الكبيرة عادة ما يكون طول القوائم أقل بكثير من عرض السفينة وبالتالي فإن جبال الإسقاط تكون عادة أطول من المسافة الرأسية بين سطح السفينة وبين القوائم.

ويجب أن يؤخذ في الاعتبار الفرق بين المسافة الرأسية لإنزال القوائم والمسافة المائلة التي تحدد طول الجبال التي تحمل القوائم، فإذا كان طول الجبل مقداره (L) والعمق الرأسى للماء مقداره (d) والسطح الحر للقارب (h) فإن العلاقة التي تحكم العمق الحقيقي للقوائم أسفل السفينة تكون كالآتي:

$$(d+h)^2 = L^2 - \left(\frac{x-y}{2}\right)^2 \quad (1)$$

$$d+h = \sqrt{L^2 - \left(\frac{x-y}{2}\right)^2}$$

$$d = \sqrt{L^2 - \left(\frac{x-y}{2}\right)^2} - h$$

العمق من سطح الماء

وبذلك فإن العمق الحقيقي بين المذبذب المرسل وبين قائم الاختبار هو المسافة (t - d) حيث (t) هي غاطس السفينة. ومن المفضل أن تكون جبال إنزال القائم من السلك الصلب الطري حتى لا تتعرض للشد وزيادة الطول.

ثانياً: خطوات عمل تجربة قائم الاختبار

- وضع جهاز الأعماق على وضع التشغيل لمدة ١٠ دقائق قبل إنزال القائم في الماء.
 - ♦ وضع سرعة التسجيل على الأقدام أو الأمتار.
 - ♦ نوقف حركة القارب في الماء ويُفضل أن يكون العمق أكبر من ٣٠ متر.
 - ♦ يفضل عدم وجود رياح أو أمواج وإذا وجدت الرياح يفضل أن تكون خلفية.
 - ♦ لنزل القائم إلى اسفل مسافة ١٥ متر تقريباً (كلما كبر الطول كلما كان ذلك أفضل).
 - ♦ تسجيل الأصداء من قائم الاختبار على ورق التسجيل.
 - ♦ نرفق القائم مسافة ٥ أمتار وتكرر قراءة التسجيل.
 - ♦ نضيف خطأ الفاصل الجانبي إن وجد.
 - ♦ نستخدم ورق مربعات لتوقيع العمق الحقيقي مقابل العمق الظاهري لجهاز التسجيل.
- وبذلك فإن تجربة قائم الاختبار تمكن من تحديد قيمة التصحيحات الواجب إضافتها على الأعماق الظاهرية للجهاز مثل:
- أ- معرفة الأخطاء العشوائية للجهاز كما تظهر على ورق التسجيل عند مراحل العمق المختلفة التي تتم عليها التجربة.
 - ب- استنتاج قيمة خطأ المؤشر لجهاز الأعماق.
 - ج- تحديد خطأ سرعة دوران الموتور.
 - د- تصحيح اختلاف سرعة انتشار الصوت في الماء.

فإذا كان خطأ المؤشر صغير فإنه لا يجب أن تقلل من سرعة دوران
ريشة التسجيل ولكن يكتفى فقط بإضافة التصحيح المناسب عند
قياس العمق. أما إذا كان خطأ السرعة محسوساً فإن سرعة دوران
الموتور يجب تصحيحها بحيث تغطي العمق المطابق للعمق القالم
الاختبار أسفل المدبذبات.

False Echoes

٨-١١ الأصداء الزائفة

يُطلق الاصطلاح (الصدى الزائف أو الكاذب) على تلك الأصداء والأهداف
التي تظهر على شريط التسجيل ولا لهم السماح فى تحديد عمق الماء
وطبوغرافية القاع. ففى حين أن الأصداء الناجمة عن تجمعات الأسماك
تعتبر صدئ كاذب بالنسبة للسماح الذى يسمح القاع، فإنها تعتبر هدف
وصدئ حقيقى بالنسبة لأعمال الصيد. وهكذا فإن نوعية أعمال المسح أو
استخدام جهاز جس الأعماق هي التي تحدد ما إذا كان الصدى كاذب أم
حقيقى.

وفى معظم الأحيان فإن الأصداء التي ترد إلينا من القاع أصداء حقيقية
وعلى السماح أن يفسر سبب وجود هذه الأصداء ونوع السطح أو الهدف
الذى تسبب فى انعكاس الإشارة الصوتية إلى السفينة فى صورة صدئ
صوتى يتم تسجيله على المسجل، وعلى ذلك فإنه يجب مراعاة الدقة فى
تحليل بيانات الأصداء الواردة إلى السفينة، فربما تكون أصداء لمناطق
ضحلة قد تسبب خطر على الملاحة، كما أنه من أهم أهداف ووظائف
السماح أثناء جس الأعماق هو تحديد الموقع (Fix) وتحديد أقل ارتفاع
للماء فوق الأجسام والأهداف الموجودة فى قاع البحر والتي قد تكون
خطيرة على الملاحة إذا لم يتم اكتشافها.

وعلى ذلك يجب تحديد الأصداء التي تشكل احتمال كبير فى وجود
أسطح حقيقية أسفل الماء، ولا توجد فى الواقع طريقة مباشرة يمكن
للسماح اتباعها لتحديد الصدى الكاذب من الأصداء الحقيقية، وهي بالطبع
تعتمد بالانقر الأكبر على خبرة القالم على أعمال المسح البحرى وتجارب

السابقة. وعلى ذلك فلا يجب أن تعامل أي صدى على أنه صدى كاذب إذا كان هناك أدنى شك في احتمال وجود جسم خطر على الملاحة.

أولاً: الأصماء الزائفة التي تسببها الأسماك False Echoes Caused by Fish

بعض أنواع الأسماك تتميز بوجود حويصلة هوائية (Swim Bladders) وعندما تكون هذه الحويصلات مملوءة بالهواء فإنها تعمل كعكس جيد للنبضات الصوتية التي يصدرها جهاز جس الأعماق، ويعتمد شكل الصدى المرتد من هذه الأسماك على أعداد الأسماك ونوعها في المنطقة.

وفي البحار المفتوحة فإنه ليس من السهل تمييز أصداء الأسماك إلا إذا كان السمك قريباً جداً من القاع. وفي جميع الأحوال فإن أصداء الأسماك تكون بعيدة عن خط القاع الموضح على شريط التسجيل. وإذا كان هناك شك في احتمال وجود الأسماك فإنه يجب تحويل سرعة جهاز الأعماق إلى السرعة البطيئة مع زيادة مفتاح الكسب (Gain) أو التكبير بقدر الإمكان، وهذه الوسيلة سوف تعمل على تقويم الأصداء المرتدة من القاع. وإذا كان جهاز الأعماق مزود بمغير للذبذبات فإن الذبذبات الطويلة يمكنها تمييز خط القاع حتى ولو كان محجوباً بواسطة أحد أسراب السمك.

وبوضوح الشكل (٨-١٩) خط الأعماق الذي حصلت عليه إحدى سفن الصيد في منطقة كبيرة. ويمكن تفسير خط من المنشار الموضح في هذا الشكل كنتيجة لحركة السفينة مع أمواج البحر، كما أن الأسماك مجمعة في سرب كثيف بالقدر الذي يظهر هذا الصدى، ومع ذلك فإننا نرى أن خط القاع واضحاً ومتميزاً وبذلك يمكن تمييز الصدى العلوي على أنه سرب أسماك. في حين أن الشكل (٨-٢٠) يوضح سجل للأعماق تم أخذه في منطقة ضحلة.



شكل (٨-١٩): أصداء مجموعات السمك في المياه العميقة



شكل (٨-٢٠): أصداء الأسماك بالقرب من القاع

وهذه الأسماك التي تظهر أصدائها تسبح في تجمعات صغيرة وهي تظهر كأصداء غير مستمرة ولكن واضحة عن خط قاع البحر، وهذه الأصداء هي أصداء متتادة نرصدها غالباً في حالة وجود أسماك أسفل سفينة المسح ويظهر هذا الصدى عندما تتواجد أعداد بسيطة من الأسماك على أعماق مختلفة؛ وعندما تقترب الأصداء من خط قاع البحر فإنه يكون من الصعب تصنيف هذه الأصداء هل هي ضحل أم أسماك قريبة من القاع. ويجب على الملاح أن يكون

حريصاً ويعتبر الأصداء القريبة من القاع والمشكوك فيها على أنها تنوءات من قاع البحر وليست أسماك. وتجدر الإشارة هنا إلى أنه من الصعب تمييز الأصداء الناتجة من الأسماك التي ترقد أو تسبح فوق قاع الصخور ولحم الشعاب المرجانية حيث أن الأصيلة المرتدة من الأسماك يمكن تفسيرها على أنها أصداء قعم عالية للشعاب المرجانية أو الصخور.

ظنوا: الأصاء الزائفة التي تسببها طبقات المياه

False Echoes Caused by Water Layers

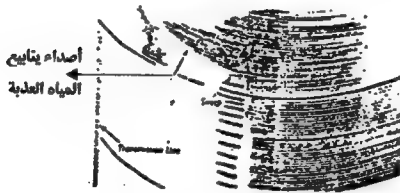
عندما تمر الموجات الصوتية من وسط إلى وسط مختلف حيث تختلف فيه سرعة الصوت، فإن الموجات الصوتية تتعرض للانكسار الطبيعي كما هو معلوم لدى قوانين الضوء والصوت، وفي بعض الأحيان فإنه يحدث انعكاس جزئي للموجات الصوتية أي أن جزء من هذه الموجات ينكسر والآخر قد ينعكس وتحت ظروف معينة فإنه قد يحدث انعكاس وارتداد تام للإشارة الصوتية والتي يتم استقبالها بجهاز جس الأعماق. وكلما زادت ليمية الترددات أي كلما كانت الترددات عالية كلما زاد احتمال انعكاس الإشارات الصوتية نتيجة لاختلاف طبقات المياه ذات الخصائص الفيزيائية المختلفة مثل درجات الحرارة والملوحة.

ولما كانت أجهزة جس الأعماق تستخدم المذبذبات ذات الترددات العالية والفوق صوتية، فإن احتمال انعكاس هذه الإشارات يظل قائماً. ويجب ملاحظة الأصداء المرتدة في هذه الحالات تميزها عن أصداء خط القاع الرئيسي. وأما حول الشعاب المرجانية النامية، فقد تتكون طبقات من المواد التي تفرزها الهائمات التي تعيش في هذه البيئة والتي في أغلب الأحيان تنسب في وجود طبقات تعمل على ارتداد الصدى وظهور الأصداء الكاذبة.

ثالثاً: الأصداء الزائفة التي تسببها ينابيع المياه العذبة

False Echoes Caused by Fresh Water Springs

في بعض الأماكن في البحار تفجر ينابيع المياه العذبة أسفل البحار وتسبب هذه الينابيع في ظهور أصداء على أشرطة تسجيل الأعماق وبعض هذه الأصداء تكون قوية وواضحة بحيث تحمل المساحين على الاعتقاد أن الأصداء الظاهرة قد تكون ناتجة عن وجود حطام سفينة أو ضحل صغير، وأكثر الأماكن شيوعاً في وجود الينابيع البحرية العذبة هي منطقة الخليج العربي حيث قاع البحر يمتد في طبقات مستوية من الحصى الرملية، ويُعتقد أن وجود هذه الينابيع له علاقة بالنشاط البترولي في هذه المنطقة، ويوضح الشكل (٨-٢١) ظهور بعض الأصداء التي تعكسها ينابيع المياه العذبة عند جس الأعماق في البحر.



شكل (٨-٢١): تأثير الينابيع البحرية للماء العذب

ويمكن التحقق من هذه الأصداء الناتجة عن الينابيع بأن يقوم المساح بأخذ عينات من المياه في المنطقة المشكوك في وجود الينابيع العذبة بها وعلى فواصل تصل إلى ١٠٠ متر بين كل عين مياه، فإذا اتضح أن ملوحة المياه تقل في المنطقة التي تظهر فيها الأصداء المشكوك في أصلها فإنه يجب اعتبار أن الأصداء ناتجة عن المياه العذبة في تلك المنطقة.

وإذا تلاحظ أن ينابيع المياه العذبة تتواجد بوفرة في المنطقة، فإنه يمكن التأكد من صحة وجودها ومن الأصداء التي تظهر على شريط التسجيل بواسطة المسح بالسلك أو بواسطة أخذ عينات المياه وفي كلتا الحالتين تستغرق الكثير من الوقت والجهد ولا يتم إجرائها إلا في حالة المسح الدقيق للتحقق للتأكد من خلو المنطقة من العوائق الملاحية في الأماكن القليلة الأعماق نسبياً.

رابعاً: الأصاء الزائفة التي تسببها النباتات البحرية

False Echoes Caused by Kelp or Weeds

من الصعب تمييز الأصداء التي تسببها النباتات البحرية خاصة نباتات الكلب التي يبلغ طولها في بعض الأحيان أكثر من ١٠٠ متر وممتدة في اتجاه رأسى وفي مجموعات كبيرة في بعض الأماكن من البحار غير أن الأصداء المرتدة من خط القاع عادة ما تكون أكثر قوة ووضوحاً من الأصداء المرتدة من هذه النباتات، ويكثر وجود النباتات البحرية في المياه القريبة من الساحل وعند أي عمق، ويمكن التأكد من وجود هذه النباتات عن طريق مقارنة الأعماق بواسطة استخدام حبل الجس Lead Line والذي غالباً ما تعلق به كمية من الحشائش والنباتات والتي تؤكد وجود هذه الظاهرة وبالتالي استبعاد الأصداء الناتجة عنها من حسابات خط القاع وطبوغرافية القاع.

خامساً: الأصاء الجانبية

Side-Lobe Echoes

يتضح من خصائص الطاقة التي تحتويها النبضات أنها تحتوى على حزمة رئيسية مركزية بالإضافة إلى حزم جانبية وهي ما يطلق عليها الحزم الجانبية Side Lobes والموضحة في الشكل رقم (٨-٥)، فإذا اصطدمت إحدى هذه الحزم الجانبية بهدف جانبي رئيسي أسفل السفينة مباشرة فإن الهدف سوف يظهر على شريط التسجيل وكأنه أسفل السفينة حيث أن جميع الأصداء الناتجة عن طاقة النبضة سواء

ما كان منها فى العزمة الرئيسية المركزية أو الحزم الجانبية فإنها سوف ترد كما لو كانت منعكسة من محور العزمة الرئيسية، ولابدو هذه الأصداء الناقجة عن الحزم الجانبية على أعماق صغيرة أسفل السفينة مباشرة وأقل بالطبع من العمق الحقيقى للقاع، ويمكن للحزم الجانبية أن تسبب خط أعماق متصل وممتد بطول خط المسح ولكن لمسافة أقل من العمق الحقيقى، ويمكن التمييز بسهولة بين الأصداء الجانبية وبين تلك الأصداء الكاذبة الناقجة عن الأسماك أو النباتات البحرية بمعرفة الظروف التى يتم فيها المسح. وعادة ما تكثر هذه الأصداء الجانبية من حطام السفن ومن الأرضة البحرية (السقالات) بالقرب من أرضة الموانئ.

Turbulence

سامسة: التقلبات المائية

تتكون التقلبات المائية البحرية فى الأماكن التى تعرض للضلال التبادلى من تيارات المد والجزر فى البحار المفتوحة Interaction of Tidal Streams أو فى مناطق مصبات الأنهار وهي أحياناً قد تسبب أصداء كاذبة فى حين أنها فى أحيان كثيرة لا تظهر أى أصداء زائفة نتيجة لذلك. أى أن هذا النوع من الأصداء ليس شائع الحدوث كما قد يختلط الأمر مع الأصداء الناقجة عن طبقات الكتل المائية ذات الخصائص المختلفة.

سامسة: الأصاء الزائفة التى تسببها المعدات المستخدمة

Instrumental False Echoes

بالطبع يمكن تجنب حدوث الأصداء الزائفة التى تسببها المعدات المستخدمة فى عملية جس الأعماق وذلك بتوخى الحيلة واتباع التسلسل المنطقى لأعمال المسح. فعلى سبيل المثال فإن وضع جهاز الأعماق بالمدى على وضع الحساسية العالى أو وضع الكسب Gain الكبير ينتج بعض العلامات والأصداء على شريط التسجيل من وقت لآخر لا علاقة لها بالأهداف التى تختفى تحت سطح الماء، كما أن

الاضطرابات الفجائية سواء في عدد الذبذبات التي يصدرها الجهاز أو قيمة فرق الجهد أو اختلاف السرعة التي تدور بها ريشة التسجيل أو اختلافات ميكانيكية أثناء المسح والتي قد تسبب بعض الأصدا الكاذبة.

وفي بعض الأحيان سجلت أصدا ناتجة عن الأصوات التي تبعثها بعض الأجهزة في غرفة آلات السفينة أو عند وجود طرق غير عادي في بدن السفينة أثناء المسح مما قد يسبب أصدا، أو حتى مرور سفينة بجانب سفينة المسح فإنه من المحتمل استقبال بعض الأصدا الناتجة عن السفينة الأخرى، وفي القوارب الصغيرة فإنها عرضة أكثر من غيرها في عرضها لظاهرة الأصدا الكاذبة الناتجة عن الأجهزة والمعدات الغير محكم استخدامها.

وكما هو الحال في بعض الأحيان حيث نحصل على أصدا كاذبة ونعتقد أنها أصدا لأهداف حقيقية، فإن احتمال حصول المساح على أصدا حقيقية لأهداف مغمورة تحت سطح الماء وتشكل اضطراب ملاحية حقيقية ولكن تبدو بجانب ظروف المسح المحيطة وكأنها أصدا زائفة، وهنا تكمن الخطورة في معالجة الأصدا التي تبدو غريبة عن المعتاد كأنها أصدا زائفة.

فعلى سبيل المثال فإن العوامات المعلقة في منتصف الطريق في عمق الماء تبدو أصداًها كأسماك كما أن أقراص الصيد المعدنية التي يتركها الصيادون أو الأنعام البحرية المعلقة أو وجود غطاسين تحت الماء، فإن هذه الأهداف تعكس أصداً تبدو كأنها زائفة وكاذبة ولكنها في حقيقة الأمر أصدا حقيقية ويجب تسجيلها بدقة.

ثانياً: الأصدا من الأعماق الضحلة والكهجرة

Multiple Echoes Caused by Shallow Water

عندما يكون قاع البحر ضغرى وذو خصائص جيدة لانعكاس الإشارة وفي المناطق الضحلة منه فإنه من المحتمل أن يرن صدبي من قاع البحر فيترك هذا الصدى الأثر الدال على العمل الحقيقي للقاع

ثم تنعكس نفس النبضة الصوتية من قاع السفينة مرة أخرى إلى قاع البحر ثم ترتد مرة أخرى من القاع في اتجاه السفينة فيستقبلها جهاز الاستقبال مرة ثانية قبل بداية إرسال النبضة التالية وبالتالي فإننا نحصل على خط أعماق أساسي ثم خط أعماق مماثل له وعلى مسافة مساوية للعمق الأول ولكن شدة الصدى تكون بالطبع أقل من الأول، فإذا توافرت هذه الشروط المذكورة على سبيل المثال على عمق ٢٠ متر فإننا نجد الخط الأول على عمق ٢٠ متر والثاني على عمق ٤٠ متر وقد يحدث انعكاس ثالث على عمق ٦٠ متر وهكذا، وللتغلب على هذه الأصدااء المتتالية لنفس خط القاع يمكن خفض مقدار الكسب Gain، ويوضح الشكل (٨-٢٢) صورة للصدى المتكرر للقاع صخري على عمق يتراوح بين ١٤-١٨ متر.

وعند رصد الأعماق الكبيرة والتي قد تزيد من أقصى مدى يمكن للجهاز قياسه في دورة واحدة حيث يحدث هذا إذا كانت الفترة الزمنية بين النبضة الصوتية التـم يطلقها جهاز جرس الأعماق والنبضة التالية لها تسمح بقياس عمق أقل من العمق الحقيقي الذي يتم فيه الجرس، فنندد نجد أن إشارة النبضة الأولى، تنطلق في اتجاه القاع وتستغرق وقتاً طويلاً قبل أن تعود مرة أخرى يكون خلالها جمع الإرسال قد قام بإرسال النبضة الثانية ثم يستقبل الجهاز الصدى المرتد من النبضة الأولى في زمن إرسال النبضة الثانية فتسجل الأعماق علم، عمق، أقل، من، العمق، الحقيقي، بمقدار، أقصى، قيمة يمكن للجهاز قياسها.

فإذا كان معدل إرسال النبضات الصوتية هو ٦٠ نبضة/دقيقة فإن الفترة الزمنية بين كل نبضتين تكون ثانية واحدة ولكن أقصى عمق يمكن قياسه هو ٧٥٠ متر.

$$D = \frac{1}{2} t v = \frac{1}{2} \times 1 \times 1500 = 750 \text{ m}$$

فإذا سجل الجهاز خط القاع على عمق ٥٠ متر فقط فمعنى ذلك أن العمق الحقيقي هو:

$$\text{العمق الحقيقي} = \text{العمق الظاهري} + \text{أقصى عمق مصمم عليه الجهاز}$$

$$= 750 + 50 = 800 \text{ متر.}$$



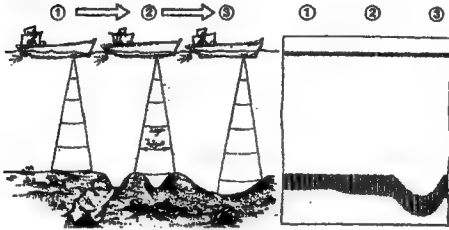
شكل (٨-٢٢): الأصداء المتكررة

Slant Floor Echoes

تأصلاً: أصداء القاع المائل أو المتحرج

عند مرور السفينة بالقرب من قاع مائل أو بالقرب من حواف مائل أو منطقة تنحدر بميل شديد فإنه من المحتمل أن تنعكس الطاقة الصوتية عن جهة الحزمة الصوتية وليس من محورها في حين أن جميع الأصداء التي ترد من النبضة الواحدة تظهر وكأنها مرندة من أصداء المحور المنصف للحزمة الصوتية، وعلى ذلك فإن الأعماق

الجانبية قد تظهر وكأنها أعماق أقل من الحقيقة أسفل السفينة مباشرة وليس على أجنابها ولا يظهر هذا التأثير في ميل القاع بل يظهر وكأنه خط مستوى أقل في العمق. وبوضح الشكل (٨-٢٣) أثر العمق المائل على الأعماق المسجلة حيث أن العمق يوضح الحافة العليا للقاع.



شكل (٨-٢٣): أثر القاع المائل أو المتعرج

عاشراً: الأخطاء التي تسببها فقاعات الهواء Error Caused by Air Bubbles

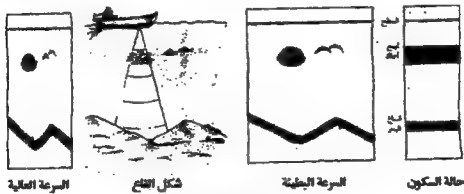
تتأثر الموجات الصوتية عند مرورها في وسط مائي يشتمل على فقاعات هوائية حيث أن سرعة الصوت في الماء خمس أضعاف سرعته في الهواء، فالطاقة التي تحملها النبضة التي يطلقها جهاز الأعماق سوف تتعرض لخفض شدتها بنفس النسبة تقريباً بالإضافة إلى أن الموجات الصوتية قد تنكسر وقد تنعكس عند اصطدامها بهذه الفقاعات الهوائية التي قد توجد في الماء وترتد مرة أخرى مسببة أصداً زائفة أي أن وجود فقاعات هوائية له تأثيرين أساسيين على الموجات الصوتية، الأول هو إضعاف طاقة هذه الموجات الصوتية أثناء ذهابها للقاع وأثناء عودتها لوحدة الاستقبال، والثاني هو وجود أصداً زائفة. وتنتج الفقاعات الهوائية من:

- أ- سير السفينة في بحر مضطرب مما يحدث درفلة طولية تحجز أسفلها وسادة هوائية.
- ب- سير السفينة للخلف مما يجعل الرفاص يسحب ماء ممزوج بفقاعات هوائية.
- ج- وجود فقاعات هوائية في باطن الأسماك.

٨-١٢ المقياس الذاتية لقياس الأعماق

أولاً: أثر سرعة السفينة على شكل القاع

عندما تكون السفينة متوقفة فإن خط الأعماق يظهر كخط مستقيم بدون تغير وعندما تسير السفينة يبطء فإن المسافة بين التدرجات التي توجد في القاع تبدو متباعدة فيما بينها، وتلاحظ أنه إذا زادت سرعة السفينة فإن المسافة الأفقية بين التدرجات تبدو متقاربة جداً وهذا يوضح أن الشكل الذي يظهر على شريط التسجيل لا يمثل الشكل الحقيقي للقاع ولا يجب أن نعامله كخريطة تضاريسية للقاع وعلى الملاح أو المساح أن يستخرج البيانات الرأسية في حينها وليس البيانات الأفقية على شريط التسجيل. ويوضح الشكل (٨-٢٤) المنظر الحقيقي للقاع وشكله على ورق التسجيل مع اختلاف سرعة السفينة.



عندما يتوقف الزورق
فإن صورة عدد الأسماك
قد تكون غير حقيقية
شكل (٨-٢٤): تأثير سرعة السفينة

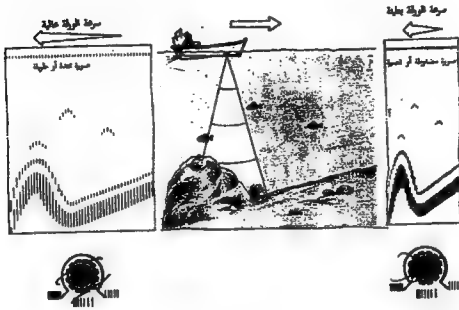
ثانياً، الشوشرة العارضة

تحدث الشوشرة العارضة نتيجة انتقال جزء من طاقة الموجات الصوتية المرسل إلى مدبذب الاستقبال عن طريق بدن السفينة أو المياه الفاصلة بين المرسل والمستقبل، وعند ارتداد الأصدااء فإن مقدمة النبضة تنشع جهاز الاستقبال وتسبب في إظهار أصدااء للعمق قبل وصول النبضة الفعلية.

وتظهر هذه الشوشرة كمعدة خطوط أو أشراط رأسية أسفل مفر التدرج ويمكن التغلب على تأثير الشوشرة عن طريق خفض مقدار الكسب Gain بحيث يمكن استقبال أصدااء القاع فقط بدرجة كافية من الوضوح.

ثالثاً، أثر سرعة شريط التسجيل

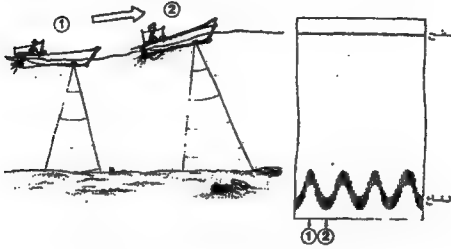
على الملاح أن يتحكم في سرعة شريط التسجيل، فقد يكون الشريط متولف تماماً أو يتحرك ببطء أو يتحرك بسرعة. وفي الحالة الأولى يظهر العمق كخط رأسي واحد ليس له امتداد أفقي لأن الشريط يكون ثابتاً وفي الحالة الثانية تبدو صورة القاع مضغوطة وفي الحالة الأخيرة عندما تكون سرعة الشريط عالية تبدو صورة القاع ممتدة وطويلة. ويوضح الشكل (٨-٢٥) أثر سرعة الشريط على صورة القاع.



شكل (٨-٢٥): أثر سرعة الشريط على صورة القاع

واضحاً: أثر الأمواج على شكل القاع

عندما يكون البحر هادئاً فإن صورة القاع تميز عن شكله الحقيقي ولكن عندما تتعرض سفينة المسح للأمواج وللحركة الرأسية الناتجة عن هذه الأمواج فإن شكل القاع الذي يظهر على شريط التسجيل يكون متعرجاً بقدر يعادل ارتفاع الموج المؤثر على السفينة، ويوضح الشكل (٨-٢٦) أثر التموج على صورة القاع والتي تظهر في الشكل أن القاع مموج وهذا غير حقيقي.



شكل (٨-٢٦): أثر الأمواج على صورة القاع

٨-٢٣ أجهزة قياس الأعماق ذات الحزم المتعددة Multibeam Echosounders

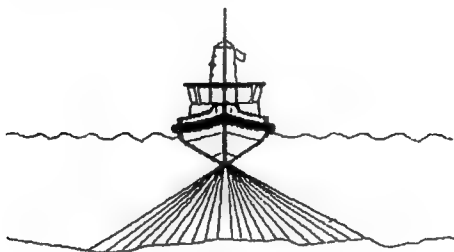
تستخدم أجهزة الحزم المتعددة في قياس الأعماق في الحالات التي يُراد فيها إجراء أعمال مسح واسعة النطاق ولتخفيض عدد مرات خطوط المسح، وفي هذه الأجهزة يتم تركيب عدة مذبذبات في شكل مروحي بحيث يغطي مساحة على كلا جانبي سفينة المسح ويتم تغذية المذبذبات بالطاقة بشكل متتابع له طور مختلف وفقاً لعدد المذبذبات.

ويوضح الجدول (٨-١) بعض أنواع أجهزة الحزم المتعددة وتردداتها كما يوضح الشكل (٨-٢٧) أجهزة قياس الأعماق ذات الحزم المتعددة الأول منها (أ) مروحي ويتم بث ترددات من موقع واحد بقاع سفينة الرصد والثاني (ب) متوازي يتم فيه بواسطة عارضات على كلا جانبي سفينة المسح وتوزع الإشارة الصوتية في كلا النوعين بطور مختلف ويمكنها جس الأعماق في منطقة عرضية أكبر من الحزمة الواحدة (Single Beam) وبفعل الدقة في توضيح الأصداء.

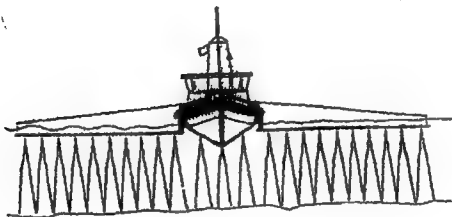
جدول (٨-١):

بعض ترددات أنظمة جى الأعماق ذات الحزم الصوتية المتعددة وخصائصها

الاستخدامات	عدد الحزم	أقصى / أقل عمق	التردد
سهل الحمل لتصوير قاع البحر فى المياه الضحلة	127	0.5/200 M	300 Khz
سهل الحمل لتصوير قاع البحر فى المياه الضحلة	254	0.5/200 M	300 Khz
لتصوير قاع البحر فى المياه الضحلة والمتوسطة العمق	120	2/400 M	95 Khz
لتصوير قاع البحر فى المياه الضحلة والمتوسطة العمق	120	2/1000 M	95 Khz
لتصوير الجرف القارى	135	5/5000 M	30 Khz
لتصوير قاع المحيط بالكامل	81	50/11000 M	13 Khz
لتصوير قاع المحيط بالكامل	162	50/11000 M	13 Khz
لتصوير قاع المحيط بالكامل	121	10/11000 M	12 Khz



(أ)



(ب)

شكل (٨-٢٢): أجهزة قياس الأعماق ذات الحزم المتعددة

الفصل التاسع

عدادات السرعة والتراكي

ومبين الدوران

**Logs, Berthing System and
Rate of Turn Indicator**

٩- عدادات السرعة والتراكف ومفففن الدوران

قفاس السرعة هفف واحدة من أهم المعلومات الملاحةفة الفف ففب معرففها بصفة مسفمرة وبنقفة لفففففد الموقع سواف الموقع الفسافف أو الموقع المرصود وقففففد موقع السففنة لم فعد ففففد على الموقع الفسافف خاصة فف ففوفد الففففف من الأجهزة والأنظمة الملاحةفة الفف أففف فف إمكانفها قففففد الموقع بسهولة. ولمعرفة سرعة السففنة ففب إففاف العلاقة بفن الففففر فف المسافة مع الففففر فف الزففن أف ففاضل المسافة مع الزففن وقفاس ففففر المسافة ففب أن فكون منسوباً الى جزء فافف على سطح الأرض وهو ما فسمى السرعة فوق الأرض Ground Velocity. وإذا لم فواففر هذفة العلاقة فإنه فمكن قفاس السرعة منسوبة الى كلفة المفاة المففطة بالسففنة وهفف ما تعرف باسم السرعة النسبفة Relative Velocity.

والسرعتان ففففففان فف الملاحة ففإذا لم فواففر شروط القفاس للسرعة الأرضفة فإنه فمكن اسففءام السرعة النسبفة بنقفة مقبولة للأغراض الملاحةفة فعد عمل فسابات الففارات المائفة حول السففنة.

وفوفد أنواع مفعددة من أجهزة قفاس السرعة بعضف منها ففففد على قفاس الضفط الناشئ عن حركة السففنة وسمى أجهزة القفاس الضفطفة وأفرفف ففففد على ففافاف صغيرة لفور ففبجة لحركة السففنة فف الماء وهفف فسمى بعدادات الشرففف Impeller Logs وفعض من هذفة العدادات ففففد على فكوففن فجال كهربافف ففناسب مع سرعة السففنة أو باسففءام ظافرة الدوبلر فف معرفة السرعة.

كما انه فمكن اسففءام أجهزة قفاس السرعة الفف ففففد على العلاقة الففباففة فف قففففد الأصءاء الوارءة من القاع لقفاس سرعة السففنة وهو ما فعرف باسم Correlation Logs.

وسواف قم اسففءام قفاس الدوبلر أو الأجهزة الففباففة فكفل منفهما فمكنه قفاس السرعة منسوبة الى قاع البحر إلا إذا زافف الأعماق عن ٢٠٠مفرا ففان الإشارة الفف فرفلها المذبذبات الصوتفة فضعف وفف هذفة الفالة ففم قفاس

السرعة منسوباً إلى كتلة المياه على بعد يبدأ من ١٢ متراً أسفل السفينة وحتى ٢٠٠ متراً وهذه السرعة تكون أقرب للسرعة الفعلية من القياس المباشر بالقرب من بدن السفينة.

وبالرغم من أهمية وجود عدادات السرعة على ظهر السفينة فإن أجهزة تحديد الموقع بالأقمار الصناعية جى.بى.أس قد أتاحت لنا الفرصة في معرفة سرعة السفينة بدقة عالية وتعتمد في ذلك على قياس المسافة بين موقعين مرصودين والزمن بين الراسدات ويمكنها توفير معلومات السرعة الحقيقية كما أنه باستطاعة بعض أجهزة الاستقبال جى بى اس والتي تعمل على قياس فرق الدوبلر في الإشارات المستقبلية على السفن يمكنها تحديد سرعة السفينة بدقة كبيرة جداً.

٩-١ عماد السرعة الكهرومغناطيسى The Electromagnetic Speed Log

تعتمد نظرية قياس السرعة عن طريق القوة الدافعة الكهربائية المتولدة على نظرية فراداى والتي توضح العلاقة بين مقدار شدة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة نتيجة لحركة ملف ابتدائى داخل موصل كهربائى في مجال مغناطيسى فإن تيار حثى Induced سوف يتولد في طرفى الموصل. وتناسب شدة التيار الحثى (القوة الدافعة الكهربائية) المتولدة مع سرعة تحرك الموصل داخل المجال المغناطيسى.

فإذا افترضنا وجود مجال مغناطيسى ثابت فإن مقدار القوة الدافعة الكهربائية سوف يتناسب طردياً مع سرعة السفينة وعند استخدام هذه النظرية في قياس السرعة فإن الموصل الكهربائى هو ماء البحر الذى يحيط بالسفينة، أما المجال المغناطيسى فإنه يمكن توليده عن طريق تمرير تيار ثابت داخل ملف Solenoid يتم تعريضه أثناء حركة السفينة.

فعند حركة السفينة فإن الموصل وبالتالي حركة المجال المغناطيسى في المياه الموصلة للكهربائية تعمل على توليد تيار حثى حول الملف الابتدائى فإذا وضعنا قطبين موصلين بالقرب من الملف الابتدائى فإنه سوف تنشأ عليها قوة كهربائية (حثية) أثناء حركة السفينة تتناسب مع سرعة السفينة.

وبوضح الشكل (٩-١) الملف الابتدائي Solenoid يتحرك عمودياً على المجال المغناطيسى المتولد حوله، وبالتالي ينشأ تيار حثى على كلا القطبين المثبتين بجانبى الملف الابتدائى.
فإذا كان التيار الابتدائى هو تيار ثابت (dc) فإن قيمة التيار الحثى تكون كالآتى:

$$emf = BLV$$

حيث: emf = القوة الدافعة الكهربائية الناتجة عن حركة السفينة

B = المجال المغناطيسى الحثى.

L = طول الموصل

V = سرعة السفينة.

ولكن (B) تكون مساوية لقوة المجال المغناطيسى أي: $emf = HLV$ ، وإذا ما تغير التيار الكهربائى من تيار ثابت الى تيار متغير (AC) لتوليد المجال المغناطيسى فإن شدة المجال سوف تتناسب مع $(H \sin wt)$ حيث أن العلاقة الثابتة مع حركة التيار المتغير هي علاقة جيبية. وكذلك فإن مقدار القوة الدافعة الكهربائية (emf) سوف تتناسب مع أقصى قيمة لشدة المجال (H) وجيب الزاوية θ أى أن:

$$emf = HLV \sin \theta$$

ولكن $\theta = wt$

حيث:

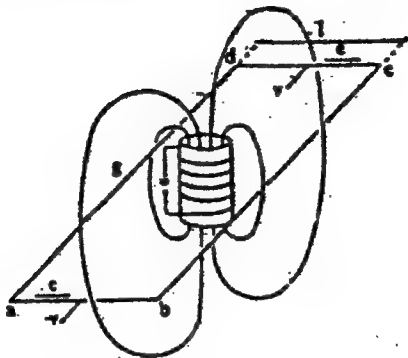
(w) هى السرعة الزاوية لتغير التيار

(t) الزمن، أى أن: $emf = HLV \sin wt$

وإذا كان كل من شدة المجال (H) وطول الموصل قيماً ثابتة فإن مقدار القوة الدافعة الكهربائية تتناسب مع سرعة السفينة.

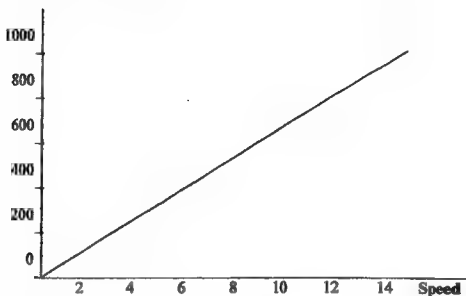
$$emf = KV$$

حيث K مقدار ثابت يساوى $(HL \sin wt)$.



شكل (٩-١): الملف الابتدائي لعداد السرعة الكهرومغناطيسي

وبوضح الشكل (٩-٢) العلاقة الخطية بين سرعة السفن ومقدار القوة الدافعة الكهربية بالقولت، وكلما زادت السرعة زادت قيمة القوة الدافعة الكهربية ومن الواضح أن قيمة القوة الدافعة الكهربية تكون صغيرة غير أنه إذا أردنا تكبير هذه القيمة فإنه يمكن زيادة التيار الابتدائي الذي يعمل على توليد المجال المغناطيسى الحثى أو زيادة عدد الملفات فى المنحنى الابتدائى وكلاهما سوف يجعل المجال المغناطيسى B ذو قيمة كبيرة وبالتالي تزداد قيمة القوة الدافعة الكهربية الناتجة عن سرعة السفينة.



شكل (٩-٢): العلاقة بين سرعة السفن ومقدار القوة الدافعة الكهربائية

ويوضح الشكل (٩-٣) وحدة الحماسية المستخدمة في جهاز قياس السرعة الكهربومغناطيسية. وتتميز هذه العدادات التي تعتمد على المجال الكهربومغناطيسي في أنه يمكنها قياس سرعة السفينة الأمامية أو الخلفية وأن الجزء البارز منها خارج السفينة يمكن تثبيته في الجانب وبذلك لا يتعرض للتلف كما أنه ليس من الضروري رفعه أو إزالته عند التشغيل غير أنه يجب عليه أن يقيس سرعة السفينة منسوبة إلى حركة المياه المحيطة بالسفينة أي السرعة النسبية في الماء فقط ويجب معرفة سرعة واتجاه التيار لتقدير السرعة الفعلية التي تسير بها السفينة منسوبة إلى قاع البحر.

أما الجزء الأسفل من الوعاء فإنه يتصل بأنبوبة ذات فتحة متجهة في اتجاه حركة السفينة الأمامية والتي يمكنها قياس الضغط الديناميكي الناشئ عن سرعة السفينة.

فإذا كانت السفينة في حالة السكون فإن كل من الضغط الديناميكي والضغط الإستاتيكي يتعادلان ويثبت الحاجز المطاطي على مستوى واحد ولكن عند تحرك السفينة الى الأمام بسرعة معينة فإن الضغط سوف يزداد في أنبوبة قياس الضغط الديناميكي والذي يضغط على الحاجز المطاطي فيحركه الى أعلى وعند تركيب عمود الحساسية أعلى سطح الحاجز المطاطي فإن الحركة الميكانيكية الناشئة على عمود الحساسية سوف تتناسب مع سرعة السفينة الأمامية.

وبين الشكل (٩-٤) غرف الضغط وكل من أنبوبة الضغط الإستاتيكي والضغط الديناميكي وعمود الحساسية. ومن المعروف أن الضغط المتولد نتيجة سرعة السفينة يتناسب مع دفع السرعة. أي أن:

$$P = KV^2$$

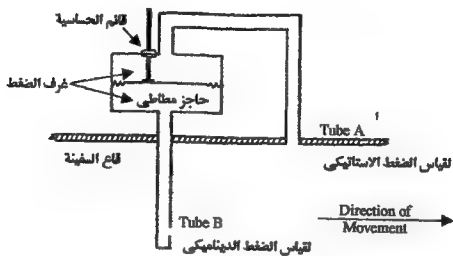
حيث أن:

$$P = \text{الضغط الديناميكي}$$

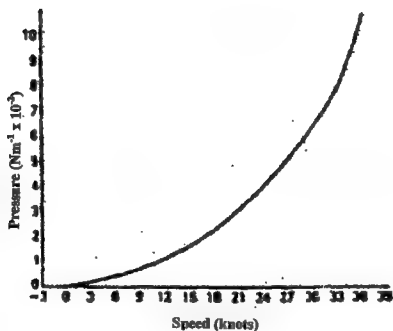
$$K = \text{ثابت}$$

$$V = \text{سرعة السفينة.}$$

مع العلم أن (K) تتناسب مع حمولة السفينة وشكلها وعلى طول أنبوبة الضغط الديناميكي أسفل وعاء الضغط وهذه العلاقة توضح أن سرعة السفينة ليست على علاقة خطية مع الضغط الديناميكي ولا بد من وجود وسيلة لتحويل العلاقة التربيعية بين الضغط والسرعة الى علاقة خطية تسهل قياسها مباشرة ويوضح الشكل (٩-٥) منحنى العلاقة بين سرعة السفينة بالفتحة والضغط بالنيوتن. ويتضح من العلاقة الرياضية ومكان تثبيت أنابيب الضغط أن العداد يقيس فقط سرعة السفينة أثناء تحركها للأمام منسوية لماء البحر.



شكل (٩-٤): عداد السرعة الضغطي



شكل (٩-٥): منحنى العلاقة بين السرعة والضغط

وبلاحظ صعوبة استخدام أجهزة قياس السرعة الضغطية في حالة سير السفينة للخلف كما أن السرعة المقاسة هي السرعة النسبية الناتجة عن حركة السفينة والماء معا ويجب معرفة اتجاه وشدة التيار حتى يمكن تقدير سرعة السفينة الفعلية منسوبة لقاع البحر.

ويجب على هذا النوع من العدادات الآتى:

- أ- قياس سرعة السفينة للأمام فقط.
- ب- قياس سرعة السفينة منسوب الى الماء أى السرعة النسبية لحركة الماء وليست السرعة الفعلية فوق الأرض.
- ج- قد تتعرض أنبوبة الضغط الهيدروميكى (B) للتلف عند الملاحة فى المياه الضحلة أو عند دخول الحوض الجاف.

٩-٣ مبادئ السرعة الصوتية المظاهري Acoustic Correlation Log

على عكس الطرق السابقة فى قياس سرعة السفينة فإن أجهزة القياس التى تقارن بين البيانات التى تحصل عليها فى أزمنة مختلفة وكذا أجهزة قياس فرق الدوبلر فإنها تقيس سرعة السفينة منسوبة الى قاع البحر وبالتالي فإنها تقيس السرعة الفعلية للسفينة وليس السرعة النسبية.

ويمكن لهذه الأجهزة قياس السرعة الفعلية Velocity Ground. حتى أعماق تصل الى ٢٠٠ مترا تحت السفينة أما إذا زادت الأعماق عن ذلك فإن السرعة تتحول أوتوماتيكيا الى سرعة منسوبة الى كتلة الماء.

وتقوم المذبذبات Transducers التى تشبه فى تكوينها مذبذبات أجهزة قياس الأعماق بالصدى فى إرسال إشارات على شكل نبضات قصيرة ترددها ١٥٠ ك.هـ من مذبذبين مثبتين على الخط الطولى للسفينة أمام وخلف وتفصل بينهما مسافة محدودة ويقوم كل مذبذب بإرسال إشاراته عموديا على مستوى الماء فى اتجاه القاع مباشرة وتقوم هذه المذبذبات بإرسال إشارات فى آن واحد ويقب فترة الإرسال فترة الاستقبال. ثم يقوم الجهاز باستقبال أصدااء الأعماق المرتدة من القاع أسفل السفينة ويكون الفرق فى الزمن بين وصول أصدااء لأهداف واحدة متماثلة بقاع البحر متناسب مع سرعة السفينة حيث أن المسافة بين مكان تثبيت كلا المذبذبين

ثابتة ويوضح الشكل (٩-٦) وجود إشارة متطابقة مرتدة من القاع من كلا المذبذبين ولكن يوجد فرق في زمن استقبال كل منهما أى أن الإشارة المستقبلية من كل مذبذب تكون متطابقة في الشكل ولكنها تختلف في زمن الاستقبال وبالتالي فإن الزمن يكون كالآتي:

$$T = 0.5 \times S/V$$

حيث:

S = المسافة بين مكان تثبيت المذبذبات بقاع السفينة

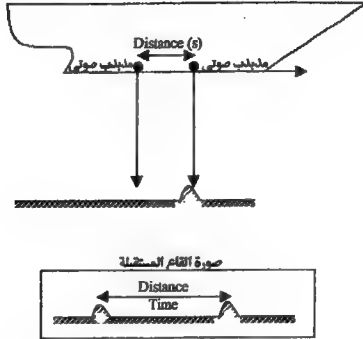
V = سرعة السفينة.

ومنها فإن السرعة (V):

$$V = 0.5 \times S/T$$

وعلى ذلك فإن سرعة السفينة يمكن قياسها عن طريق مقارنة الإشارات المستقبلية من كل من مذبذبين مثبتان على مسافة مقدارها (S) طوليا في تقدم وتأخر السفينة ويجب ملاحظة أن الزمن المقاس هو الزمن بين استقبال كلا الإشارتين وليس الزمن بين إرساله واستقباله، حيث أن الزمن بين إرساله واستقباله يوضح العمق في حين أن الزمن بين الاستقبال الأول والاستقبال الثاني يعطى قيمة سرعة السفينة كما يجب ملاحظة أن درجة حرارة الماء والعمق والملوحة لن تؤثر على دقة قياس السرعة حيث أن كلا الإشارتين معرضتان لنفس الظروف ويكون الفرق بين وصول الإشارات متساويا في جميع حالات الانتشار ويتضح من هذا التكنيك أنه في الإمكان قياس عمق الماء أيضا وإيضاحه على أجهزة البيان المناسبة وهذا العمق يكون متناسبا مع الفرق في الزمن بين إرسال النبضة واستقبالها لأي من المذبذبات.

وتستخدم أجهزة قياس السرعة بالمعلاقة التبادلية لتضاهي بين الإشارات المرتدة من مذبذبات ذات أحجام صغيرة وبالتالي فإنها تقسم بتوليد ترددات عالية جدا فوق صوتية قيمتها من ١٥٠ الى ١٠٠٠ ك.هـ..



شكل (٩-٦): نظرية عمل عداد السرعة التبادلي

وتتميز هذه العدادات بإمكانية قياس سرعة السفينة السفلية Speed Over Ground وقياس السرعة الأمامية والخلفية حسب حركة السفينة للأمام أو للخلف وأخيراً فإن اختلاف درجة الحرارة والملوحة والعمق لا تؤثر على دقة قياس سرعة السفينة.

Doppler Speed Logs

٩-٤ عداد السرعة الدوبلر

دائماً ما تستخدم ظاهرة الدوبلر لقياس سرعة الهدف المتحرك والدوبلر هو الفرق بين الترددات المرسلة والترددات المستقبلية لنفس الإشارة نتيجة لتحرك مصدر الإشارات أو المستقبل أو كلاهما وتستخدم الأجهزة الحديثة لقياس السرعة من هذه الظاهرة والتي يمكنها قياس السرعة المنسوبة إلى قاع البحر Bottom Tracking وبدقة عالية جداً.

فإذا لم إطلاق شعاع من الترددات الفوق صوتية في اتجاه خط سير السفينة فإن الترددات المستقبلية سوف تختلف عن تلك التي لم إرسالها وتعتمد قيمة الاختلاف بين كلا الترددات على العوامل التالية:

- أ- الترددات المرسله
 - ب- سرعة انتشار الموجات الصوتية في الماء
 - ج- سرعة السفينة في الماء منسوبة للقاع.
- ويكون فرق الترددات (fd):

$$fd = ft - fr$$

حيث:

(ft) = الترددات المرسله

(fr) = الترددات المستقبلية .

وسوف تكون الترددات المستقبلية (fr) أعلى من المرسله في حالة سير السفينة الأمامي بينما تكون الترددات المستقبلية أقل من الترددات المرسله في حالة السير للخلف أما علاقة قيمة الفرق في الدوبلر مع سرعة السفينة فهي كالآتي:

$$fd = \frac{2vft}{c}$$

حيث:

v = سرعة السفينة

c = سرعة انتشار الموجات الصوتية في الماء ١٥٠٠ متر / ثانية.

وحيث أننا لا نتوقع وجود عاكس أمام مقدمة السفينة فإنه يتم توجيه الترددات في اتجاه القاع وبزاوية ميل على الخط الطولي للسفينة بزاوية (θ) مقدارها ٦٠ درجة.

وقد وجد أن قيمة هذه الزاوية هي أنسب قيمة في حسابات سرعة السفينة. كما يلاحظ هنا أن شكل القاع ليس له تأثير على الترددات المرسله الى السفينة مرة أخرى بشرط أنه ليس أملس تماماً حيث في هذه الحالة قد لا تنعكس الإشارات مرة أخرى الى مذبذبات الاستقبال.

وعند استخدام مذبذبات مائكة بزاوية مقدارها ٦٠ درجة على المستوى الأفقي فإن فرق الدوبلر تكون قسمته كالآتي:

$$fd = \frac{2vf (\cos \theta)}{c}$$

وحيث أن (θ) مقدارها ٦٠ درجة، فإن فرق الدوبلر يصبح:

$$fd = \frac{2vf \left(\frac{1}{2} \right)}{c}$$

$$fd = \frac{vf}{c}$$

وبالتالي فإذا اختلفت الزاوية (θ) عن ٦٠ درجة فإنه سينشأ خطأ في قيمة السرعة المحسوبة وقيمة الزاوية (θ) قد تختلف نتيجة لحركة السفينة ودرجاتها الطويلة. وحتى يمكن التغلب على احتمال اختلاف قيمة زاوية الميل عن المستوى الأفقي فإنه يستخدم مذبذبان متماثلان في قيمة الترددات يقوم الأول منها بإرسال تردداته في اتجاه المقدم في حين يقوم المذبذب الثاني بإرسال تردداته في اتجاه المؤخر أي أن:

$$fd = \frac{2vf}{c} \times [\cos \theta_1 + \cos \theta_2]$$

حيث θ_1 و θ_2 هما زوايا تثبيت المذبذبات في الاتجاه الأمامي والاتجاه الخلفي وكلاهما (٦٠°) فإذا درفلت السفينة إلى أعلى فإن قيمة θ_1 تزداد بنفس قيمة انخفاض قيمة θ_2 للخصف وتكون المحصلة دائماً لمجموع $\cos. \theta_1$ و $\cos. \theta_2$ هو الواحد الصحيح، أي أن:

$$fd = \frac{2vf}{c} \times 1$$

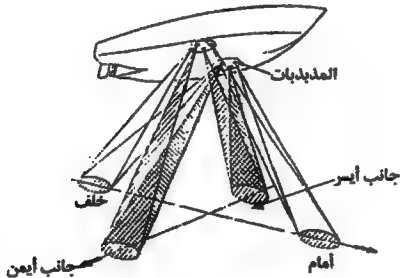
Janus Configuration

٩-٤-١ تنظيم جاناس

يتكون تنظيم جاناس من مجموعة من مذبذبات تبث إشارات في اتجاه مقدم واتجاه مؤخر السفينة كما تبث الإشارات أيضاً في اتجاه جانب أيمن وجانب أيسر السفينة وقد أطلق هذا الاسم على مجموعة الإرسال نسبة للإله

الروماني الذي يتميز بوجهين متماثلين. ويتميز هذا التنظيم بأنه يمكن تلاشي تأثير الدرفلة الطولية للسفينة حيث أن الزيادة في زاوية الميل (θ) بين مستوى السفينة والمستوى الأفقي في المرسلات الأمامية يقابلها نقص مماثل في زاوية الميل في المرسلات الخلفية وتظل محصلة الزاويتين الأمامية والخلفية ذات قيمة واحدة ومقدارها واحد صحيح. أي أن درفلة السفينة في الاتجاه الطولي أو الاتجاه العرضي لا تؤثر على فرق الدوبلر الذي يتم قياسه في الاتجاه الطولي أو الاتجاه العرضي ويتم قياس السرعة الطولية بحساب فرق الدوبلر من المذبذبات الأمامية والخلفية أما السرعة الجانبية فيتم قياسها بحساب فرق الدوبلر من المذبذبات العرضية جانب اليمن وجانب اليسر السفينة.

وتستخدم المذبذبات الكهربائية (محصر كهربائي) ذات أحجام صغيرة وبالتالي فإن تردداتها عادة ما تكون ترددات عالية جداً وتثبت في القاع داخل تجويف خاص يسهل الوصول إليه لأغراض الصيانة والإصلاح. ويوضح الشكل (٩-٧) مذبذبات وتنظيم جاناس وشكل الإشعاعات الصوتية الموجهة إلى قاع البحر.



شكل (٩-٧): نظام جاناس واتجاه الحزمة الصوتية

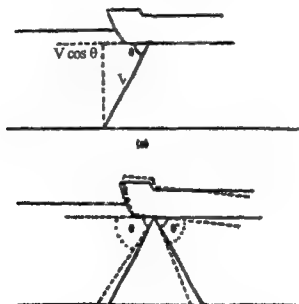
وبوضح الشكل (٩-٨) في تنظيم جاناس (Janus) والذي يتميز بأن له وجهان كل منهما عكس الآخر أن قيمة الدوبلر (fd) في هذه الحالة:

$$fd = \frac{2vft}{c} \times [\cos \theta + \cos \theta]$$

وحيث أن المقدار (cos.θ + cos.θ) مساوياً واحد صحيح، فإن فرق الدوبلر يصبح قيمته كالآتي:

$$fd = \frac{2vft}{c}$$

وبالتالي يمكن إهمال قيمة زاوية الميل في هذه الحالة حيث أنه عند درفلة السفينة فإن إحدى هذه الزوايا تزيد بينما تقل الأخرى بنفس المقدار وباستخدام مذبذبات جاناس فإن الخطأ الذي ينشأ عن زاوية الميل يقل حتى ٠,٢٪ من قيمة السرعة المقاسة.



شكل (٩-٨): زوايا تثبيت المذبذبات بقاع السفينة

وكما ذكرنا فإنه إذا تم إضافة مذبذبات عمودية على المذبذبات الطولية أى فى الاتجاه العمودى على مقدم السفينة ويتم تركيبه بنفس الزاوية فإنه يمكن قياس حركة السفينة الجانبية.

وفى هذه الحالة يمكن قياس سرعة السفينة بدقة عالية فى اتجاه الأمام أو الخلف أو الجانب الأيمن أو الجانب الأيسر، وتعتبر عدادات الدوبلر فى غاية الأهمية لقياس سرعة السفن عند سيرها فى الأماكن الضيقة أو عند تراكبها على أرضية الشحن حيث تكون سرعة الاقتراب والارتكاز على الرصيف أحد العوامل الهامة لسلامة كل من الرصيف والسفينة.

٩-٢-٣ قياس سرعة السفينة منسوبة لقاع البحر أو للماء

تمتص طاقة الموجات الصوتية المنتشرة فى الماء بسبب جزيئات على عمق ٢٠٠-٤٠٠ متر، لذلك يعمل عداد دوبرلر فقط حتى عمق ٢٠٠ متر تقريباً وإذا استخدمت ترددات منخفضة، قد تصل الأصدااء مرتدة من القاع الصخري على أعماق ٦٠٠ متر أو أكثر.

وعموماً فإن الشعاع الصوتى يمتص وينتشت بواسطة الطبقة المائية على عمق ٢٠٠-٤٠٠ متر، هذه الطبقة تسمى الطبقة العميقة المشتتة Deep Scattering Layer (DSL) وعند استقبال الانعكاسات من هذه الطبقة فإن السرعة المقاسة بواسطة عداد دوبرلر تكون منسوبة إلى هذه الطبقة وليس إلى قاع البحر، مما يحدث حالة من عدم التحقق والالتباس.

وبعيداً عن تأثير الطبقة العميقة المشتتة DSL، فإن المياه على عمق ١٠-٣٠ متر أسفل قرينة السفينة تسبب انعكاس صدى الصوت إلى المذبذبات وحدوث فارق دوبرلر نتيجة تكرار التذبذبات لحيز الماء فى هذا العمق المحدود، وذلك يسمى اتصال مائي Water Track. أما فى المياه العميقة بالطبع يوجد فارق زمني كبير بين وصول الانعكاسات من قاع البحر والانعكاس من كمية الماء على عمق ١٠-٣٠ متر. يمكن جعل المستقبلات عاملة لفترة زمنية قصيرة (نالدة لوقت محدود Window) إما مباشرة أو بعد فترة قصيرة من الانتهاء من إرسال كل نبضة.

وبفرض أن المستقبل قد حصل على اتصال قاعي Bottom Contact، فإن النافذة تسمح بعمل المستقبل بعد فترة قصيرة من انتهاء الإرسال. فإذا قد عداد الدوبلر الاتصال القاعي، تحول النافذة أوتوماتيكيا تسمح للمستقبل بالعمل مباشرة فور انتهاء إرسال النبضة. نتيجة لذلك يستجيب المستقبل فقط للانعكاسات الواردة من طبقة المياه على عمق ١٠-٣٠ متر وعند حدوث ذلك تنطفئ لمبة بيان الاتصال القاعي، وتضيء لمبة بيان خاصة بالاتصال المالي وفي بعض أنواع عدادات دوبلر من الممكن التحول يدويا إلى تشغيل باتصال قاعي أو مالي على أعماق أقل من ٦٠٠ متر.

وتعتبر سرعة الصوت في الماء من أهم العناصر التي تؤثر على سرعة السفينة وحيث أن سرعة الصوت في الماء تتأثر بكل من الملوحة والضغط ودرجة الحرارة فإن أي اختلاف في هذه القيم عن القيمة القياسية فإنها تؤثر بالتالي على دقة السرعة المقاسة بواسطة عداد دوبلر.

وفي الأجهزة التي تتطلب معرفة السرعة بدقة عالية فيتم إضافة أجهزة قياس سرعة الانتشار في الماء وكذا مقدار الملوحة وإضافة التصحيحات اللازمة لسرعة الانتشار قبل استخدامها في قياس سرعة السفينة.

٩-٣-٤ استخدام طرق الطور في قياس السرعة

تقوم شركة كروب أطلس بإنتاج أجهزة تعمل على معادلة تأثير اختلاف سرعة انتشار الصوت في الماء واختلاف الملوحة التي تؤثر على هذه السرعة وذلك بتركيب مذبذبات تختلف في مراحل إرسالها بفرق طور ثابت. وبوضوح الشكل (٩-١) طريقة تثبيت مذبذبات كروب أطلس والمسافات البينية بين هذه المذبذبات والتي تكون من أربعة مذبذبات تثبت في مصفوفة واحدة بحيث تكون المسافات بينهم متساوية وقيمتها (٥) فيقوم المذبذب الأول من اتجاه مقدم السفينة بإرسال إشارته يليه المذبذب الثاني والذي يقع خلفه على مسافة (٥) وبعد مرور زمن يعادل ١٢٠° من الطور أي ما يعادل ٣/١ من طول الموجة يقوم المذبذب الثالث بإرسال إشارته بعد مرور ٢٤٠° من الطور أي ما يعادل ٣/٢ من طول الموجة وبحيث تكون المسافة في اتجاه الانتشار عند الزاوية (٥) من المستوى

الأفقى مقدارها طول الموجة (λ) والمسافة في اتجاه مقدم السفينة
المستوى الأفقى مقدارها (3a) ومنها:

$$\cos \theta = \frac{\lambda}{3a} \quad , \quad \lambda = \frac{c}{ft}$$

$$\therefore \cos \theta = \frac{c}{3aft}$$

وبالتعويض عن (cos. θ) في معادلة فرق الطور:

$$fd = \frac{2ftv}{c} \times \cos \theta$$

نحصل على معادلة عالية من سرعة انتشار c حيث:

$$fd = \frac{2ftv}{c} \times \frac{c}{3aft}$$

ومنها فإن السرعة تعادل:

$$v = \frac{3}{2} a (fd)$$

حيث (a) هي المسافة بين المذبذبات و (fd) هي فرق الدوبلر، وهكذا فإن
معادلة السرعة تكون غير متأثرة بقيمة سرعة انتشار الصوت في الماء ولا
بمقدار درفلة السفينة الطولية.

أي أن السرعة المناسبة تعادل ٣/٢ من قيمة فرق الدوبلر بين الترددات
المرسلة والمستقبلة.

ويمكن استخدام أجهزة إرسال مستمر (CW) أو استخدام أجهزة إرسال
على شكل نبضات (PM)، وفي الحالة الأولى فإنه يستخدم مذبذبات من
مجموعة جانس Jans واحد هذه المذبذبات يكون للإرسال في حين
يستخدم الآخر للاستقبال بصفة مستمرة ويتم الاستقبال إما من الترددات
المرتدة من قاع البحر أو من انتمار الماء إذا كان العمق كبيراً ويزيد عن
٣٠٠ متر غير أنه إذا كان مقدار الطاقة التي تحتويها الموجات ليست كافية
للاتشار إلى أعماق كبيرة ففي هذه الحالة تزداد الترددات الموجات من أعماق تتراوح
بين ١٢ متر إلى ٢٠٠ متر وتوقف على قوة الإشارة وعلى مقدار الانكسار في
مسار الإشارات.



وفي هذه الحالة تستخدم مذبذبات ذات طاقة عالية ومركزة في فترة إرسال النبضة ويستخدم نفس المذبذب في إرسال واستقبال الترددات بالإضافة إلى أن نظامك النبضات أكثر فاعلية في التغلب على الترددات المبعثرة حيث يستخدم نصف عدد المذبذبات المطلوبة ويستخدم نفس المذبذبات في كل من الإرسال والاستقبال. ومن أهم مميزات النظام النبضي أيضا أنه يمكن استخدامه حتى أعماق كبيرة تصل إلى ٣٠٠ متر والتي تتوقف بالطبع

على مقدار الطاقة وطول الموجة المستخدمة في حين أن الإرسال المستمر قد يتميز عن الإرسال النبضي في الاستخدام في الأعماق الصغيرة حيث أن النظام النبضي يكون متأثراً بمعدل الإرسال (PRR).

ويستخدم عداد دوبلر عالمياً لملاحة الناقلات الضخمة، وتظهر أهميته الفارقة لهذا النوع من السفن خصوصاً أثناء إبحارها بجوار الساحل أو عند رباطها على رصيف أو عوامة، إذ يصعب على ربان السفن أو القباطين بإرشادها تقدير السرعة الفعلية بالخبرة، وذلك حتى لا تحدث أضرار نتيجة لسوء التقدير. ويستفاد بعدد دوبلر لبيان سرعة السفينة للأمام أو الخلف بدقة تصل إلى ٠,٠١ عقدة (٥ سم/ثانية)، كما يبين العداد السرعة العرضية في مقدم ومؤخرة السفينة. ولذلك زودت أجناب الممشى بمكررات لهذا العداد علاوة على وحدة البيان الرئيسية الموجودة داخل الممشى.

عند الاقتراب من بعض الموانئ تحدد السلطات سرعات محددة للاقتراب ويجب وجود عداد دوبلر للحصول على أدق البيانات المتعلقة بالسرعة. ويمكن استخدام عدادات دوبلر في قياس معدل دوران السفينة وذلك بتركيب مجموعة جاناس في مقدم السفينة ومجموعة أخرى في مؤخر السفينة، وببين الاختلاف بين الحركة الجانبية لمقدم السفينة والحركة الجانبية لمؤخر السفينة مقدار الدوران أو معدل دوران السفينة والذي يكون عنصراً هاماً عند الاقتراب من الأرصفة بالإضافة إلى قياسها للسرعة الفعلية فوق الأرض (Over the Ground) وخاصة في الأعماق التي تقل عن ٢٠٠ متر، أما إذا زادت الأعماق عن ذلك فإنه من المحتمل أن ترد المبدئيات الصوتية من الكتل المائية العميقة وبالتالي فإن السرعة تكون سرعة نسبية وليست سرعة حقيقية.

Berthing Systems

٩-٥ مساعدات التراكب على الأرصفة

يوجد عدد من الأجهزة والمساعدات الملاحية الإلكترونية التي توفر المعلومات التي يطلبها الملاح للمساعدة على تأمين اقتراب السفينة من الممرات الملاحية وتسهيل أعمال مناورات السفينة قبل رباطها على الرصيف من هذه الأجهزة. عدادات قياس السرعة الدقيقة سواء باستخدام نظام

الدوبلر أو النظام الكهرومغناطيسى وأيضاً أجهزة قياس العمق والتي تم استعراضها فى الفصل السابق من هذا الباب.

غير أن حركة السفن بالنسبة للأرضة قد شكلت فى أحيان كثيرة صعوبة خاصة بالنسبة للسفن العملاقة ذات الأحجام والحمولات العملاقة عند تراكبها على أرضة الشحن، فقد أصبح من المهم معرفة سرعة اقتراب هذه النوعيات من السفن من الأرضة حتى يمكن تحديد أقصى قيمة لطاقة التصادم أو طاقة الاقتراب والتي يجب ألا تتعدى الأحمال المصمم عليها أرضة التراكب. وبهدف حماية كل من الرصيف والسفينة من الزيادة فى طاقة الحركة الناتجة عن السرعة الزائدة من اقتراب السفينة، وجب تجهيز بعض هذه الأرضة أو السفن نفسها بأجهزة المساعدة على التراكب والتي سنتناولها فى السطور القادمة.

٩-٥-١ أنظمة السونار المذبذبة على الرصيف

فى هذه الأنظمة يتم تجهيز طرفي الرصيف بجهاز سونار يتكون من مذبذبات صوتية تحت خط الماء وعلى عمق يتراوح بين ٢-٥ متر، ويثبت المذبذب فى اتجاه البحر أى فى الاتجاه الذى تقترب منه السفينة بحيث يوجهه المذبذب الأول فى اتجاه مقدم السفينة والمذبذب الثانى فى اتجاه مؤخر السفينة، ويقوم كل مذبذب بإرسال ترددات عالية حوالى ١٠٠ كهرتز مشابهة لتلك الترددات التى تطلقها أجهزة قياس السرعة بنظام الدوبلر وبمعرض حزمة تعادل ١٠-٢٠ درجة. ثم يقوم الجهاز بقياس الترددات المرتدة من السفينة التى فى مواجهة الرصيف، وبمعرفة الفرق بين الترددات المرسله والترددات المستقبله وهو ما يعرف بفرق الدوبلر (f_d)، فإنه يمكن قياس سرعة اقتراب السفينة من الرصيف حيث أن السرعة تتناسب طردياً مع فرق الدوبلر.

$$f_d = \frac{2vft}{c}$$

ومنها:

$$v \propto f_d$$

حيث (v) سرعة السفينة، (fd) فرق الترددات المرسله والمستقبله، (f) الترددات المرسله و(c) سرعة الانتشار.

وبحساب فرق دوبلر لكل من المذبذب الموجه إلى مقدم السفينة والمذبذب الموجه إلى مؤخرها يمكن حساب سرعة السفينة ومعدل دورانها على النحو التالي:

أ- إذا كنت كل من السرعتين متساويتين في مقدم ومؤخر الرصيف فإن ذلك يدل على تراكبي السفينة بالتوازي على الرصيف.

ب- إذا اختلفت السرعة المقاسة من مذبذب المقدم عن مذبذب المؤخر فإن ذلك يدل على أن السفينة تكتسب عزم دوران في مواجهة الرصيف.

ومن المعلومات التي تفصل عليها عن سرعة السفينة في مواجهة الرصيف والتي تكون دقيقة فإنه يمكن تحديد السرعة الآمنة المطلوبة والتي يتحملها هيكمل الرصيف كما يمكن تحديد السفينة عن اكتسابها عزم دوران غير مرغوب أثناء الاقتراب. كما يمكن نقل هذه المعلومات من الرصيف إلى قيادة السفينة إما عن طريق الاتصال اللاسلكي أو لوحات مضنية على طرفي الرصيف تحدد سرعة مقدم ومؤخر السفينة. وعلى الرغم من أن هذا النظام يوفر دقة عالية في تحديد السرعة ومعدل الدوران والمسافة إلا أنه محدود بالمدى الذي يعمل عليه والذي يكون في حدود ٢٠٠ متر وأيضاً بتأثره بتداخلات الموجات فوق صوتية في الماء في منطقة المناورة.

٩-٥-٣ أنظمة دوبلر الرادار Radar Doppler Systems

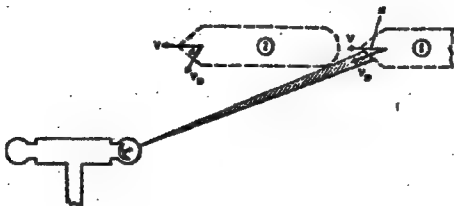
أنظمة دوبلر للموجات القصيرة تستخدم قياس فرق دوبلر لإشارة الموجة المرتدة من السفينة المتحركة وذلك لتحديد السرعة النسبية بين مصدر الإرسال والسفينة المتحركة. مصدر الإرسال للموجات القصيرة يثبت على الرصيف وفوق مستوى سطح الماء بمسافة كافية. ويوضح الشكل (٩-١٠) هوائى الرادار ومكان تثبيته. وبعض الأنظمة تستخدم نطاق الترددات المستخدم بالرادار البحرى والبعض يستخدم حيز ترددات من ٨,٢ إلى ١٢,٤ جيجا هرتز. ولكن في السنوات الأخيرة انحصر الاستخدام في حدود

نطاق ١٤ جيجا هرتز. ويتحقق أقصى مدى للتشغيل بتركيز الطاقة المرسلة في شعاع ضيق باستخدام هوائى ذو عاكس قطع مكافئ Parabolic ومدى الاستخدام الفعلى يعتمد على عدة عوامل منها مساحة السطح العاكس، شكل السفينة المقترية، حالة البحر واستقرار مصدر الموجات القصيرة فى أحسن الظروف يكون أقصى مدى لسفينة كبيرة فى حدود ١-٢ ميل. ولاستغلال إمكانيات النظام على أقصى مدى يجب الإبقاء على شعاع الإرسال على السفينة موجها على السفينة المقترية وتقل قراءات السرعة المستخرجة إلى السفينة عن طريق الاتصال اللاسلكى.

وأثناء المرحلة النهائية للرباط يجب مراعاة أن السرعة المقاسة المطلوبة ليست فقط التى تمثل مركبة سرعة السفينة للأمام فقط، ولكن عادة تؤخذ قياسات لحركة السفينة العرضية من مقدم ومؤخر السفينة كل على حدة، وذلك باستخدام جهازين بدلا من جهاز واحد وبذلك يمكن قياس سرعة الاقتراب ومعدل دوران السفينة إذا نشأ لها عزم دوران.

فى حالات كثيرة يجب تعيين أفراد مدربين على الجهاز لنقل معلومات السرعة والدوران إلى السفينة المقترية بواسطة الاتصال اللاسلكى، ولكن فى حالات أخرى تستخدم شاشة رقمية كبيرة تبين السرعة المقاسة، وتثبت هذه الشاشة على الرصيف فى مكان بحيث يمكن رؤيتها من ممشى السفينة المقترية.

نظام دوبلر للموجات القصيرة لا يتأثر بالعوامل المتداخلة والمؤثرة على أداء أنظمة السونار مثل رصاصات السفن القريبة، غير أن القراءات المستخرجة قد تتأثر بإشارات الراديو القريبة منها ومن الإشارات المرتدة أو المنعكسة من الأجسام القريبة من مكان السفينة.



شكل (٩-١٠): رادار دوبلر لقياس سرعة اقتراب السفن من الأرصفة

وقياس المسافة أو السرعة يتعرض لمؤثرات وعوامل تؤثر على كفاءة ودقة قياس المسافة لأن الإشارات المرتدة من السفينة المقترية تكون محصلة الانعكاسات علاوة على الآثار السلبية الناشئة عن تعدد مسارات الإشارة وتأثير الحزم الجانبية للهوائي Antenna Side Lobes، كما يمكن تركيب مثل هذه الأجهزة سواء دوبلر سونار الصائى أو دوبلر الرادار الهوائى على السفينة ولكن يراعى توجيه المذبذبات أو الهوائيات فى اتجاه الرصيف. ويمكن نقل المعلومات الخاصة بحركة وسرعة ومعدل دوران السفينة إلى قائد الميناء لتحديد ما إذا كانت سرعة اقتراب السفينة من الرصيف فى حدود الأمان بقوة يتحملها الرصيف ومن ثم يقوم بتوجيه ملاحظاته على مناوره الاقتراب بالتعديل إذا تطلب الأمر ذلك.

٩-٦ أجهزة بيان معدل الدوران Rate of Turn Indicator

تتطلب المناورة الآمنة للسفن ذات الحمولات الكبيرة فى البحر المفتوح أو عند الاقتراب من الممرات الملاحية المحددة درجة عالية من المهارة ومعرفة عميقة بخصائص مناورة السفينة، وبالطبع فمهما بلغت معرفة ومهارة الملاح الموجود بالمشى فإن ذلك لا يعنى الاستغناء عن المعلومات الواردة من الأجهزة الملاحية المختلفة ومن أجهزة التوجيه المتعددة

بالسفينة للوصول في النهاية إلى القرار الصحيح الواجب اتخاذه بفرض إجراء مناورة آمنة للسفينة.

وتنص تعليمات الملاحة على تزويد السفن الكبيرة بمبينات الدوران عند استخدام الرادار في أي عمليات ملاحة أو مناورات تراكبي السفن والتي يمكن معرفتها بسهولة من جهاز معدل الدوران. أما أثناء المناورات الحرجة ومثال لذلك دخول الحوض الجاف أو العالم حيث يتطلب الأمر التحكم في حركة السفينة بدقة ومهارة خصوصاً تلك السفن التي لها قصور ذاتي كبير والتي لها زمن استجابة كبير عند تحريك الدفة، فإن إجراء تعديل بعض الخطأ في مناورة السفينة يمثل عبثاً ضخماً مضافاً بالأخطار، ولا يوفر البوصلة الحقيقية تنبؤاً جيداً عن معدل دوران السفينة.

ويتكون معدل الدوران من عجلة جيروسكوبية مركبة على حلقة اتزان مثبت بها محور دوران العجلة وكذلك المستوى الأفقي المثبت أيضاً بين السفينة وثبتت العجلة والحلقة بحيث لا تدور حول المحور الرأسي وبالتالي فإن محور دوران العجلة يمكنه الميل Tilt حول المحور الأفقي ولكنه لا يستطيع الانحراف Drift حول المحور الرأسي وثبتت بأحد أركان الحلقة بواسطة زنبرك (يائي) كما أن هناك مؤشر مثبت بالركن التالي له ويتحرك على تدريج مثبت أمامه.

وعند دوران السفينة حول المحور الرأسي فإن محور الدوران الخاص بالعجلة سيدور مع السفينة في المستوى الأفقي مغنياً اتجاهه مما يجعله يمثل حول المحور الأفقي في المستوى الرأسي بنفس معدل الدوران الذي تدور به السفينة.

كما أن عزم الدوران Torque الذي يثبت اليائي في المستوى الرأسي نتيجة ميل الحلقة سوف يتناسب طردياً مع درجة ميل محور الدوران ومع معدل دوران السفينة وكذلك مقدار انحراف المؤشر على التدريج الخاص به والذي يبين هذا الميل.

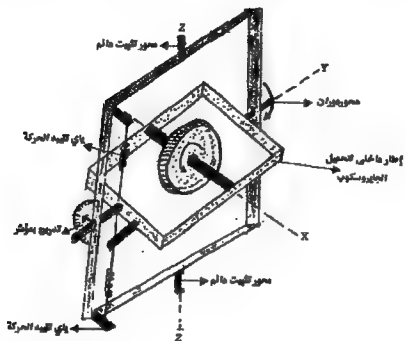
وعند دوران السفينة إلى جهة اليمين مثلاً ينشأ ازدواج في اتجاه عقارب الساعة في المستوى الأفقي على حلقة الاتزان وبالتالي على محور الدوران

فيميل الجزء الأيمن لمحور الدوران إلى أعلى في المستوى الرأسى ويتحرك المؤشر إلى أعلى على التدرج الخاص به بمقدار يتناسب طردياً مع معدل دوران السفينة. فمن المعروف أن مقدار ميل محور الدوران يتناسب طردياً مع الأزواج المؤثر في حالة دوران عجلة الجيروسكوب بسرعة منتظمة.

وعند درجة ميل معينة لمحور دوران الجيروسكوب والمؤشر سوف يتساوى كل من الأزواج الناشئ عن الزنبرك وعن العبادرة وبالتالي سيتوقف ميل محور الدوران ويثبت المؤشر عند مقدار معين على التدرج يحدد معدل الدوران الذى تدور به السفينة وسوف يتناسب مع مقدار انحراف المؤشر على التدرج لأن كل من معدل الدوران ومقدار انحراف المؤشر يتناسبان مع الأزواجين المتساويين وبالتالي فإن مقدار انحراف المؤشر على التدرج الخاص به يمكن معايرته أو قسمه إلى عدد من درجات الدوران في الدقيقة.

ويتميز استخدام مبدل معدل الدوران بالآتى:

- يستخدم فى حالات الملاحة فى الممرات الضيقة نظراً لأنه يساعد فى إجراء مناورات دقيقة.
- يمكن توصيله بالرادارات والأربا لإعطاء نتائج أفضل بالنسبة لأقرب حالة مرور للسفن (CPA) بدقة عالية.
- تحسين أداء الدومان الأوتوماتيكى (Autopilot).
- تحسين مناورات التراكى على الأرصعة.
- يساعد عند السير بسرعة بطيئة حيث يعطى بيان لمعدل دوران السفينة ومقدار تجاوب الدفة.



شكل (٩-١١): مئين معدل الدوران

الفصل العاشر

تحديد الاتجاه اللاسلكى والفرائط

الإلكترونية والتكامل الملاحي

**Direction Finder by Radio,
Electronic Charts and Integrated
Navigation System**

١٠- تحديد الاتجاه اللاسلكي والغرائط الإلكترونية والتكامل الملاحى

Radio Direction Finder

١-١٠-١-١٠ تحديد الاتجاه اللاسلكي

١-١-١٠-١-١٠ الوصف العام

يُعتبر تحديد الاتجاه اللاسلكي في البحار من أقدم الأنظمة الملاحية والتي مازالت تستخدم حتى الآن، ويستخدم بكفاءة في تحديد الموقع في الملاحة الساحلية.

ويُفرد محمد الاتجاه اللاسلكي من بين العديد من أنظمة الملاحة بأنه يسمح للسفينة الرائدة أن تحدد اتجاه محطة الإرسال التي قد تكون محطة إرسال ساحلية أو سفينة في حالة استغاثة تقوم بإشعارها اللاسلكية وعندئذ تتمكن السفن المحيطة بها من تحديد اتجاهاتها من أماكن مختلفة وبالتالي تستطيع تحديد موقعها. ولقد ساعد وجود أجهزة تحديد الاتجاه الأوتوماتيكية على تسهيل تحديد محطات الإرسال سواء كانت ساحلية أو سفن في حالة استغاثة وبثت إشاراتهما على تردد الاستغاثة الدولي ٥٠٠ كهرتز.

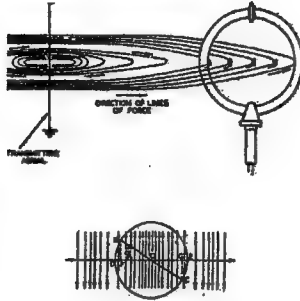
١-١-١٠-٢-١٠ المبدأ الإطاري

الهوائي الإطاري هو موصل منحني مفلق قد يأخذ الشكل الدائري أو شكل المستطيل أو شكل المثلث. ومن المعروف في خصائص انتشار الموجات الكهرومغناطيسية أنه عندما تمر خطوط المجال المغناطيسي خلال ملف توصيل بهذا الشكل فإنه ينشأ عند طرفي الملف تيار كهربائي متغير ويسمى التيار الحثي. فعندما تقوم محطات الإرسال بإرسال موجاتها الكهرومغناطيسية فإنها تنتشر في الهواء ويتم استقبالها بواسطة الهوائيات الإطارية القادرة على تحديد اتجاه المحطة المرسل. ويمكن للهوائي الإطاري المبدئي أن يدور حول محور رأسي وبذلك يمكن تعيين اتجاه الإرسال.

وعندما يوضع مستوى الهوائي الإطاري في مستوى مجال الإرسال التابع فإن خطوط المجال المغناطيسى تمر خلال ثبات السلك الموصل ويتكون بذلك تيار متغير على طرفي الهوائي الإطاري ويكون التيار المتولد في الهوائي أكبر ما يمكن عندما يكون مستوى الهوائي في اتجاه محطة الإرسال ويكون الاتجاه مساوياً للمفر وفي هذه الحالة فإن أقصى عدد من خطوط المجال تمر خلال حيز الهوائي شكلي (١٠-١) فإذا وصل طرفي الهوائي إلى جهاز استقبال راديو لتحويل الإشارة اللاسلكية إلى إشارة راديو مسموعة فإن أقوى إشارة من محطة الإرسال سوف يمكن سماعها عندما يكون مستوى الهوائي في اتجاه محطة الإرسال وإذا أدير الهوائي حول المحور الرأسي بمقدار ربع لفة أي ٩٠ درجة فإنه في هذه الحالة تكون خطوط المجال التي تمر خلال الملف تكون مساوية للمفر وبالتالي لا يمر تيار متغير عند طرفي الملف وتكون شدة الإشارة التي تصدرها محطة الإرسال غير مسموعة .

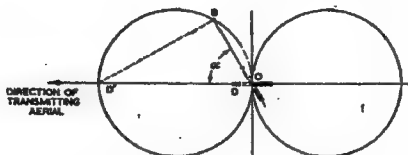
وعندما يدور الهوائي ربع دائرة أخرى فإن أقصى قدر من خطوط المجال سوف تمر مرة أخرى خلال الهوائي وبالتالي فإن إشارة محطة الإرسال سوف تكون مسموعة وقوية مرة أخرى.

وأثناء دورة كاملة للهوائي الإطاري حول محوره الرأسي فإن الإشارة التي تصدرها محطة الإرسال سوف تسمع بوضوح وتكون قوية مرتان عندما يكون مستوى الهوائي في نفس اتجاه المحطة أو في عكس اتجاهها أي عندما تكون الزاوية θ مفر أو ١٨٠ درجة وتكون الإشارة أقل ما يمكن وغير مسموعة عندما تكون الزاوية θ مساوية ٩٠ درجة و ٢٧٠ درجة.



شكل (١-١٠): خطوط المجال الكهرومغناطيسية في الهوائى الإشارى

ويوضح الشكل رقم (١-١٠) قيمة التيار المتغير الذي ينشأ من الأوضاع المختلفة للهوائى من محطة الإرسال ويسمى بالشكل القطبي (Polar Diagram) فإذا دار الهوائى الإشارى زاوية مقدارها θ فإن فرق الجهد يتغير بعلاقة جيب التمام ولأن قيمة فرق الجهد تزداد مرة أخرى عندما تزيد الزاوية عن 90° فإن دائرة أخرى تتكون بنفس المواصفات ويطلق على الشكل النهائى بشكل (a) أو رقم ٨ بالإنجليزية وحتى يمكن تحديد اتجاه محطة الإرسال فإن الهوائى يمكنه الاستدارة إلى الموضع الذي تحصل فيه على أعلى قيمة للإشارة التى ترسلها محطة الإرسال ويكون اتجاه محطة الإرسال هو امتداد مستوى الهوائى.



شكل (١٠-٧): الشكل الثماني القطبي

ويمكن أيضاً إدارة الهوائية بحيث تنخفض الإشارة وتصبح غير مسموعة على الإطلاق وفي هذه الحالة فإن اتجاه محطة الإرسال تكون عمودية على مستوى الهواء.

وعملياً فإن الهواء الإطاري يتم إدارته لتحديد اتجاه محطة الإرسال عندما تكون قوة الإشارة أقل ما يمكن وتستخدم هذه الطريقة حيث يكون معدل التغير في قوة الإشارة إلى معدل التغير في زاوية الدوران أكبر ما يمكن وبالتالي يمكن تحديد اتجاه المحطة بدقة أكبر في الموضع الذي يكون عنده مستوى الهواء عمودي على اتجاه المحطة في حين أن تحديد اتجاه المحطة في حالة أقصى قيمة للإشارة فإن معدل التغير يكون صغيراً ويصعب تحديد الاتجاه الدقيق للمحطة.

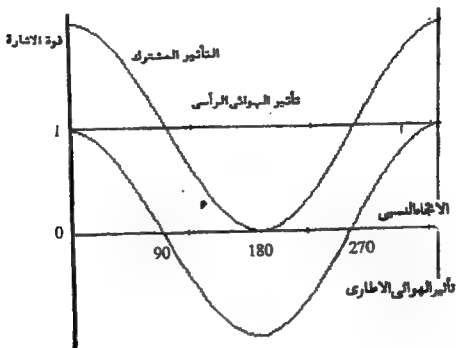
ويتضح من استخدام الهوائى الإطاري بمفرده أن اتجاه المحطة الحقيقي يشوبه الغموض حيث يكون دائماً اتجاهان خلال الدائرة الكاملة التي يكون عندها قوة الإشارة أقل ما يمكن ويكون الفرق بينهما ١٨٠ درجة لذلك فإنه يلزم إضافة هوائي خاص في الاتجاه الرأسى للمساعدة على تحديد الاتجاه الصحيح للمحطة المرسل.

ويتكون الهوائى الرأسى ويصمم بحيث تكون قوة استقباله متساوية من جميع الجهات بغض النظر عن اتجاه المحطة من السفينة أي أنه يرسم شكل

قطبي له نصف قطر متساوياً مع أقصى قيمة يحصل عليها الهوائى الإطارى عندما يكون فى مستوى الاتجاه المحطة.

وبوضح الشكل (١٠-٣) علاقة كل من الهوائى الرأسى والهوائى الإطارى فى تحديد قيمة الإشارة. ويتضح أن بإدارة الهوائى الإطارى بمفرده فإن الإشارة المسموعة تتبع منحنى جيب التمام $(\cos \theta)$ وتكون أكبر ما يمكن وفى الوضع عندما تكون زاوية الاتجاه مساوية للصفر وتكون أصغر ما يمكن فى الوضعين ٩٠ درجة، ٢٧٠ درجة أى أن هناك اتجاهين يكون عندهما قيمة الإشارة أقل ما يمكن. وإذا كتبنا تأثير الهوائى الرأسى بمفرده فنجد أن الإشارة تكون ثابتة على طول الخط الذي يمثل الاتجاه (θ) وتكون قيمة الإشارة مساوية لأقصى قيمة لإشارة الهوائى الإطارى فى الوضع عندما تكون $(\theta) = \text{صفر}$.

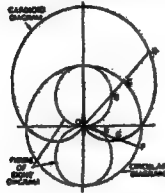
وإذا تم تشغيل كل من الهوائى الإطارى والهوائى الرأسى سوياً فإن التأثير المشترك لكلا الهوائيات سيتبع المنحنى العلوى والذي تكون فيه الإشارة أكبر ما يمكن عندما تكون $(\theta) = \text{صفر}$ وأقل ما يمكن عندما تكون $(\theta) = ١٨٠$ درجة ويلاحظ على التأثير المشترك أنه توجد قيمة صغرى واحدة فقط خلال الدورة الكاملة التي تكون فيها الزاوية ١٨٠ ويلاحظ أن هذا الاتجاه يكون عمودي على الاتجاه الذي يقيس فيه الهوائى الإطارى مقدار القيمة الصغرى لمحطة الإرسال.



شكل (١٠-٣): منحنيات الهوائى الرأسى والإطاري

ويمكن التعبير عن هذه العلاقة بالشكل (١٠-٤) وهو يسمى بالشكل الكارديود أو المنحنى القلبي Cardiod. ولاحظ فيه الدائرة الكبيرة والتي تمثل تأثير الهوائى الرأسى والدائرتين الصغيرتين تمثلان تأثير الهوائى الإطاري ثم المنحنى القلبي الذى يمثل التأثير المشترك، ويتضح من الرسم أن الشكل القلبي له اتجاه واحد تكون الإشارة عندها أقل ما يمكن.

Simultaneous reception via both orbits then gives a diagram that is the sum of a circle and a figure-of-eight.

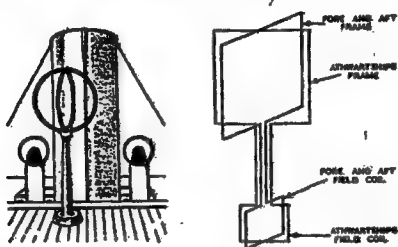


شكل (٤-١٠): الشكل القطبي الناتج عن التآثر الراسي والإطاري

١٠-٣ الهوائى الإطاري المتعامد

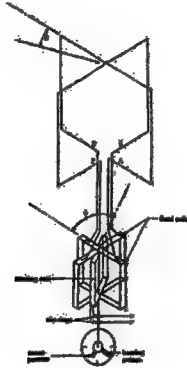
توجد صعوبات عديدة فى استخدام الهوائى الإطاري الدوار حيث يجب تثبيت الهوائى فى مكان أعلى لتدريج الاتجاه المطلوب استخدامه فى غرفة القيادة أو غرفة التخزين، وقد يكون من غير المناسب فى كثير من الأحيان الاعتماد على تدوير الهوائى يدوياً لتحديد الاتجاه الدقيق لمحطة الإرسال. لذلك فقد تم استخدام نظام الهوائيات المتعامدة الذى يسمى بلانيسى توىسى (شكل ١٠-٥). ويتكون نظام الهوائى الإطاري المتعامد من هوائيين إطاريين متعامدين أحدهما فى اتجاه مقدم مؤخر السفينة والثانى عرضى والزاوية بينهما ٩٠ درجة، فإذا كان اتجاه المحطة المرسله على اتجاه ٤٥ درجة نسبى من مقدم السفينة فإن التيار المتولد على كل من الهوائيين سيكون متساوياً حيث أن كل من الملفين يكونان متماثلين.

وتتولد إشارة فرق جهد تتناسب مع جيب تمام زاوية الاتجاه ($\cos \theta$) فى الهوائى الطولى ولفرق جهد يتناسب مع جيب الاتجاه ($\sin \theta$) فى الهوائى العرضى. وبالتالي فإن اتجاه محطة الإرسال (θ) من السفينة يمكن إيجاده بتحليل فرقى الجهد فى كلا الهوائيين المتعامدين.



شكل (١٠-٥): الهوائى الإطارى المتعامد

وينشأ عن مرور المجال المغناطيسى فى الملفات المتعامدة تيار حتى متغير ينتقل من الملفات المتعامدة فوق سطح السفينة إلى ملفات متعامدة صغيرة ثابتة وفى نفس اتجاهات الملفات الرئيسية أى فى مستوى الخط الطولى المنصف للسفينة والمستوى العرضى للسفينة. وينتج عن مرور التيار الحثى فى الملفات الداخلية مجال مغناطيسى متغير، وتسمى الملفات الداخلية بملفات المجال وتكون شدة المجال المتولدة فى ملفات المجال متناسبة مع شدة التيار الحثى المتولد عن الهوائى الإطارى المتعامد فوق السطح وبذلك يمكن نقل التأثير المطلوب من الهوائيات المتعامدة فوق سطح السفينة إلى هوائيات أصغر حجماً داخل جهاز الاستقبال بترفة القيادة (شكل ١٠-٦). وإذا تحرك اتجاه المحطة المرسله سواء فى اتجاه الهوائى الطولى أو الهوائى العرضى أو فى أى اتجاه بينهما فإن محصلة شدة الإشارة ستكون فى مكان بين الاتجاه الطولى للسفينة والاتجاه العرضى لها.



شكل (١٠-٦): الهوائي المتكامل والجونوميتر

Geomometer

١٠-١-٥ الجونوميتر

يتكون الجونوميتر من ملفات المجال وملف البحث، وتتكون ملفات المجال من ملفين متعامدين يوضعان في نفس المستوى الذي توضع فيه الهوائيات الإطارية المتعامدة على سطح السفينة. وتكمل هذه الملفات على إظهار نفس المجالات التي تتولد على الملفات الخارجية المتعامدة. وبالإضافة إلى ذلك يشتمل الجونوميتر على ملف ثالث يدور حول محوره الرأسي أو حول نفسه داخل ملفات المجال، ويسمى الملف الأخير بملف البحث وهو الذي ينشأ عليه فرق جهد يتناسب مع المجال المغناطيسي المتولد داخل ملفات المجال ويعادل محصلة الإشارة التي تصل إلى السفينة. ويقوم ملف البحث مقام عمل الهوائي الإطارى الدوار حيث تكون قيمة فرق الجهد المتولدة به صفراً أو أقل ما يمكن عندما يكون مستوى ملف البحث عمودياً على اتجاه المحطة المرسله وبالتالي فإن مؤشر

الجونوميتر والذي يثبت عموديا على مستوى ملف البحث يشير حينئذ إلى اتجاه المحطة وتكون الزاوية بين مؤشر الجونوميتر ومقدم السفينة هي زاوية اتجاه محطة الإرسال.

١٠-١-٥ الخطأ وأسبابها

أولاً: الخطأ الناشئ عن بدن السفينة (التمراف)

هو خطأ ناشئ عن الإشارات المرودة أو المنعكسة من بدن السفينة والإنشاءات المعدنية بها ويتكون عليها تيار حثي متغير وهو يؤثر بدوره على قيمة التيار المتولد على الهوائي الإطارى لجهاز تحديد الاتجاه، فعندما تصل الموجات الكهرومغناطيسية القادمة من محطة الإرسال وتسقط على صواري السفينة والمدخنة وما بالسطح من أسلاك وهوائيات فإنه يتكون مجالاً مغناطيسياً ثانوياً يؤثر على الهوائي الإطارى الذى تصله إشارة مباشرة من محطة الإرسال وأيضاً إشارات ثانوية مرودة أو منعكسة من الإنشاءات المحيطة بالهوائي وتكون هذه الإشارات الضعيفة المرودة من البدن خارجة عن طور الإشارات الأساسية فبسبب ذلك عدم وضوح للقيمة الصغر للإشارة وبالتالي ينتج عنها خطأ فى تحديد الاتجاه ويكون من الصعب تحديد مقدار النهاية الصغرى للإشارة.

ويمكن تحليل قيمة الخطأ الناشئ عن المنشآت المحيطة بالسفينة إلى مركبتين أساسيتين الأولى منها ويعبر عنها بالخطأ الربعى والثانية بالخطأ النصفى.

١- الخطأ الربعى Quadrantal Error

سمى الخطأ الربعى بهذا الاسم لأن أقصى قيمة له عند رصد الاتجاه تظهر عندما يكون الاتجاه النسبى للمحطة ٤٥-١٣٥-٢١٥-٣١٥ وتكون قيمة الخطأ صفراً عندما يكون الاتجاه النسبى صفراً-٩٠-١٨٠-٢٧٠ وهذا يصور لنا منحنى جيبى.

وينشأ هذا الخطأ من الإشارة المرتدة من الإنشاءات القريبة من الخط الطولي مثل الإنشاءات العلوية وجميع الأجزاء المعدنية التي تستقبل الموجات الكهرومغناطيسية وتنعكس جزءا منها إلى موقع الهوائي.

وحيث أن كل من الإشارة الأساسية والإشارة المرتدة من إنشاءات السفينة تحمل على نفس التردد ولكنها مختلفة في الطور الزاوي، فإنه ينشأ خطأ في زاوية الاتجاه يتناسب مع قوة واتجاه الإشارة المرتدة من الإنشاءات وعلى موقع الجسم العاكس من الهوائي وعلى السطح الحر من بدن السفينة، فإذا كان الهوائي مثبتا في مؤخر السفينة فإن الخطأ على الاتجاهات الأمامية يكون أكبر من قيمة الخطأ على الاتجاهات الخلفية وبالعكس فإذا كان الهوائي مثبت في الجزء الأمامي من السفينة فإن قيمة الخطأ في الاتجاهات الخلفية الخلفية ١٣٥-٢٢٥ سيكون أكبر من الخطأ على الاتجاهات الخلفية الأمامية ٤٥-٣٢٥. ومن حسن الحظ فإن قيمة الخطأ تكون ثابتة بالنسبة لمواقع الهوائي ولذلك يمكن معايرتها بصفة دورية وملازمة هذا الخطأ ويمكن أيضا وضع ملف تصحيح الخطأ الربعي بجوار الجونوبوميتر ليعمل على ملازمة الخطأ الربعي.

د- الخطأ النصفى Semi-Circular Error

سمي الخطأ النصفى بهذا الاسم لأن قيمة الخطأ الناشئ عنه يكون أكبر ما يمكن عندما يكون الاتجاه النسبي للمعدة المرسل ٢٧٠، ٩٠ ويكون مقدار الخطأ صفرا إذا كانت الاتجاهات المقاسة بالقرب من الخط الطولي للسفينة صفرا أو ٩٠. وينشأ الخطأ النصفى من الأجزاء الرأسية بجسم السفينة والموصلة كهربيا بالقرب من موقع هوائى محدد الاتجاه مثل الصواري والمدخنة وسراسي أذرع الشحنة ... ويكون تأثير الخطأ النصفى الناشئ عن الإنشاءات الرأسية أكبر ما يمكن عندما تقارب أطوال هذه العاكسات الرأسية من أطوال الموجات المستخدمة بالنسب $\frac{\lambda}{2}$ ، $\frac{\lambda}{4}$ ، $\frac{\lambda}{8}$ وهكذا حيث (λ) هي

طول الموجة ... وأكبر المؤثرات بالطبع هي الهوائيات الأخرى المستخدمة في أغراض إرسال واستقبال الاتصالات اللاسلكية ولذلك تفصل هذه الهوائيات عند استخدام جهاز محدد الاتجاه في رصد اتجاهات محطات الإرسال.

وفي وجود تأثيرات بدن السفينة يجب ملاحظة أن الإشارات المتداخلة تكون أكبر ما يمكن عندما يكون اتجاه المحطة على الاتجاهات الربعية من مقدم السفينة أي في اتجاه ٩٥°، ١٣٥°، ٢٢٥°، ٣١٥° أو اتجاهات نصف دائرة مثل ٩٠°، ٢٧٠°، درجة وبالنسبة للخطأ النصفى Semi-Circular Error فإن الخطأ يكون موجب في النصف الأول من صفر - ١٨٠° ويكون سالب من ١٨٠° - ٣٦٠° وتكون أقصى قيمة له عند الاتجاه ٩٠°، ٢٧٠° أما الخطأ الربعى فإن قيمة الإشارة تتغير أربعة مرات خلال الدورة الكاملة وتكون أقصى قيمة موجبة عند ٩٥°، ٢٢٥° وأقصى قيمة سالبة عند ١٣٥°، ٣١٥°.

ثانياً: الخطأ الليلي أو خطأ الاستقطاب Night Effect

هو الخطأ الذى ينشأ عن استقبال الموجات السماوية لمحطة الإرسال، فمن المعروف أن الموجات السماوية تصل بعد وصول الموجة الأرضية بفترة زمنية تتوقف على بعد الراصد عن محطة الإرسال وأيضاً على ارتفاع وكثافة الطبقة المؤينة ووصول الموجات السماوية بعد وصول الموجات الأرضية يعني وجود اختلاف في الطور بين وصول الإشارتين، وتعتمد قيمة الخطأ الناشئ عن التأثير الليلي على كل قيمة التردد المستخدم وعلى درجة تأين الطبقة المؤينة. ولما كانت قيمة التردد المستخدم لنفس المحطة ثابتاً فإن خطأ الاستقطاب يتأثر بشدة بمقدار التغير في شدة التأين.

وعندما تكون الإشارة الأرضية عند أقل قيمة لها تكون هناك قيمة ملموسة للموجة السماوية وبذلك لا نحصل على أقل قيمة مطلوبة لتحديد اتجاه المحطة. والتأثير الثانى للموجات السماوية هو أثناء

دورات الموجات السماوية حول محور انتشارها والتي تسمى التضاؤل Fading وبسببها يمكن الحصول على إشارة عالية لم إشارة منخفضة دون تفسير موضع الهوائي وهذا قد يسبب خطأ في تحديد الاتجاه يبلغ ٩٠° أحيانا إذا لم نعتن لهذه الظاهرة الطبيعية في انتشار الموجات السماوية وهو ما يسمى بالاستقطاب.

ومجمل القول أن الموجات السماوية تتسبب في عدم الحصول على نهاية صغرى صافية وإنما تتداخل معها شوشرة تؤثر على دقة الاتجاه الذي تحصل عليه. ويمكن التنبؤ بحدوث الاستقطاب على مسافات تصل إلى أكثر من ٢٠٠ ميل أثناء النهار أما أثناء الليل فإن هذه المسافة تقل حتى مسافة ٢٥ ميل فقط. وتبلغ أقصى قيمة لتأثير الخطأ الليلي قبل ساعة من شروق الشمس وساعة بعد غروبها... وحيث لا نستطيع التغلب على تأثير الاستقطاب أو التأثير الليلي فإنه من غير المفضل استخدام الجهاز في هذه الأوقات.

ويمكن التأكيد من وجود ظاهرة الاستقطاب بالدلائل التالية:

- استقبال غير منتظم.
- وجود مثلث خطأ في الموقع الناتج من جهاز تحديد الاتجاه.
- ظهور شكل بيضاوي في أجهزة تحديد الاتجاهات المرئية.
- وإذا ثبت وجود الاستقطاب فإنه يجب من القيمة الناتجة للاتجاه.

Coastal Refraction

ثالثاً: الانكسار الساحلي

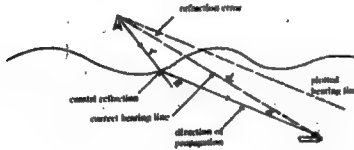
إذا مرت إشارة مغناطيسية في وسطين مختلفين الكثافة والتوصيل فإن مسار الإشارة ينكسر في اتجاه الوسط الأكثر كثافة. وقد حدث هذه الظاهرة عندما تمر الإشارة الكهرومغناطيسية من الساحل إلى سطح البحر فإنها تغير اتجاهها بمقدار يتوقف على مقدار معامل الانكسار لهذا الساحل وعلى تأثير درجة توصيل سطح الأرض.

وللتغلب على خطأ الانكسار أو تقليل قيمته فإن محطات إرسال الراديو البحرية تبنى وتُنشأ بالقرب من خط الساحل بقدر الإمكان حتى يمكن أن تنتشر الموجات الأرضية مباشرة في وسط واحد بقدر

الإمكان. ومع ذلك فإنه في بعض الأحيان تكون السفن مضطرة لاستخدام إشارات محطات ويكونات تكون بعيدة عن خط الساحل أو في الجانب الآخر من لسان أرضى ممتد أو شبه جزيرة.. وعندئذ يجب ملاحظة العوامل التي تساعد على زيادة هذا الخطأ ومحاولة الإفادة من المعلومات الملاحة والتصحيحات المحلية لهذه المحطات. ويوضح الشكل (١٠-٧) انكسار المسار عن خط الساحل بزوايا (β) وأن قيمة خط الانكسار تحدد بالعلاقة التالية:

$$\sin \alpha = \frac{r}{d} \times \sin \beta$$

حيث (d) هي بعد الراصد عن المحطة و (r) هي بعد المحطة عن خط الساحل، (β) هي زاوية الانكسار على خط الساحل.



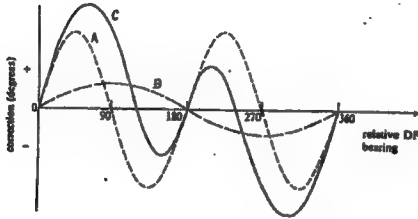
شكل (١٠-٧): خطأ الانكسار على الساحل

١٠-١-٢ معايرة الجواز ومخططات التصحيح

Calibration and Correction Curves

عادة ما تتم هذه المعايرة ومنحنيات التصحيح بواسطة أفراد ذوي خبرة في بعض الموانئ العالمية. وبالرغم من هذا فإن ضابط الملاحة وربان السفينة عليهم المساعدة في عمل هذه التصحيحات من وقت لآخر حيث أن معايرة أجهزة تحديد الاتجاه أمر حيوي وضروري إجراؤه عند تركيب جهاز تحديد الاتجاه اللاسلكي أو عندما تتغير الظروف والتي تمت فيها معايرة الجهاز في المرة السابقة.

ويوضح الشكل (١٠-أ) ثلاث منحنيات. يمثل المنحنى (A) تأثير الخطأ الربيعي Quadrantal Error على قيمة الانحراف وتبلغ أقصى قيمة للخطأ الربيعي عندما يكون الاتجاه النسبي للمحطة ٣١٥، ٢٢٥، ١٣٥، ٤٥ أما المنحنى (B) فهو يمثل تأثير الخطأ النصفى Semicircular والذي يتغير مرتان فقط وتبلغ أقصى قيمة له عندما يكون الاتجاه النسبي للمحطة المرسل ٩٠° و ٢٧٠° أما المنحنى التالي (C) فهو يمثل محصلة من الخطأ الربيعي والخطأ النصفى وهو أيضا يمثل النتيجة النهائية لجميع العوامل التي تؤثر على قيمة الاتجاه الدقيق للمحطة المرسل.



شكل (١٠-أ): منحنى معايرة جهاز تحديد الاتجاه اللاسلكي

ويتبع أحد أسلوبين لمعايرة جهاز تحديد الاتجاه على النحو التالي:

أولاً: تدوير السفينة حول نفسها

يعتبر اختيار مناسب لتدوير السفينة وعادة ما يكون خارج الميناء وبهذا بشكل كافي عن محطة إرسال راديو يمكن رؤيتها ورصدها .. ويكون مكان التدوير خال من المؤثرات الخارجية مثل منطقة مختطاف أو مرور سفن أو بالقرب من أهداف ثابتة على الساحل قد تعمل على عكس إشارات الراديو لم تجهز السفينة بطريقة مماثلة لظروف إبحارها بأن تخفض أذرع الشحنة وتطلق بنارية.. ويتم تشغيل

ما يلزم من أجهزة الإبحار حتى تكون السفينة في وضع مماثل للإبحار.. ثم يرصد اتجاه محطة الإرسال لاسلكيا ويصريا على الاتجاهات النسبية للسفينة ويسجل الفرق بين الاتجاهات على شكل منحنى أو جدول الخطأ.

ثانياً، تدوير جهاز الرصد حول السفينة

في هذه الحالة تستقبل السفينة على مخططاتها أو ترف ساكنة في مكان منعزل ويقوم قارب صغير بحمل جهاز الإرسال ويدور حول السفينة ويتم مقارنة الاتجاه النسبي واللاسلكي للقارب أثناء دورانه حول السفينة وتمثل القراءات على شكل منحنى أو جدول الخطأ. ويتم تدوير السفينة Swinging على غرار ما يتم عمله لتصحيح بوصلات السفينة ولتأخذ قراءات متعاقبة وأنية لاتجاه المحطة اللاسلكية الأرضية. وفي معظم الموانئ التي بها شركات بيع جهاز محدد الاتجاه فإنه توجد محطات خاصة لعمل المعايرة تكون مميزة الألوان وتكون في مكان قريب من مدخل الميناء أو بالقرب من شاطئ حتى تتم المعايرة بسلام ولا يعجبها عن الرؤية شيء بالنسبة للسفينة.

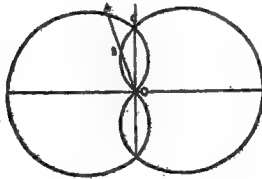
وبالرغم من أن هذه المعايرة يجب أن تتم لكل تردد Frequency إلا أنه جوازاً يتم معايرة الجهاز على تردد واحد فقط والخاص بالمحطة التي يتم تدوير السفينة بالقرب منها.

ويجب ملاحظة أن الاتجاه الذي نحصل عليه بواسطة محدد الاتجاه اللاسلكي هو اتجاه نسبي Relative Radio Bearing ويجب إضافة مقدار خط سير السفينة الحقيقي على الاتجاه النسبي للحصول على الاتجاه الحقيقي للمحطة.

١٠-٧ أجهزة تحديد الاتجاه الأوتوماتيكية

تعتمد هذه الأجهزة على الاستقبال اللصكي عن طريق الهوائيات المتعامدة بالإضافة إلى الهوائي الرأسى الذى يساعد على إظهار التأثير المشترك

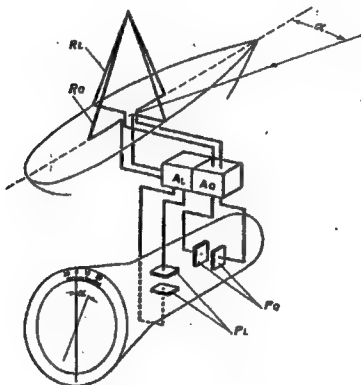
بالشكل القلبي (الكارديوغرام) وتقوم الأجهزة الأوتوماتيكية بعكس الإشارة المتولدة على طرفي ملف البحث Search Coil بحيث يسبب فرق طور مقداره 90° فإذا كان تغير فرق الجهد يعمل بمعدل ٤٠٠ مرة في الثانية فإننا نحصل على تأثير مماثل لتأثير الشكل القلبي ولكن في الاتجاه المعاكس شكل (١٠-٩) المقارن لأقل تيار ناشئ عن هذا الشكل. وفي الوضع أقل قيمة للإشارة فإن قوة الإشارة لم تعد متأثرة بتغير الطور وبالتالي تغير الإشارة من سالب إلى موجب وبالعكس وسيظل المؤشر مشيراً إلى الاتجاه الذي تكون قيمة الإشارة عليه أقل ما يمكن. وبالتالي فإن ملف البحث يتجه دائماً في الاتجاه الصحيح الدال على اتجاه محطة الإرسال.



شكل (١٠-٩): الشكل الكارديوغرام للأجهزة الأوتوماتيكية

أما أجهزة تحديد الاتجاه المرئية فإنها تستخدم صمام أشعة المهبط CRT في بيان اتجاه محطة الإرسال وتتمكن من نقل الإشارة المتولدة على الهواء إلى الإطاري المتعامد إلى ألواح الانحراف الأفقى والرأسى بأنبوب أشعة المهبط.. ويوضح الشكل (١٠-١٠) رسم تخطيطى للهوائى المتعامد وضمام أشعة المهبط ومسار الإشارات المؤثرة على شاشة البيان والتي تحدد اتجاه محطة الإرسال كخطة إلكترون مرئية. ويتميز جهاز تحديد الاتجاه المرئى بالآتى:

- أ- يظهر اتجاه المحطة كخط الكتروني مضيء يوضح الاتجاه النسبي أو الاتجاه الحقيقي إذا كان الجهاز معشقا مع البوصلة الجايرو.
 - ب- الجهاز المرئي أقصى قيمة للإشارة وليس أصغر قيمة كما هو الحال في الأجهزة السمعية فقط... ولذلك فإن مدى استقبال الأجهزة المرئية يكون أكبر وأدق من مدى الأجهزة السمعية.
- كما يمكن اكتشاف التأثير اليلبي أو تداخل الموجات السماوية بتغير الخط الالكتروني وتجنب الراصداات المتأثرة بتداخل الموجات السماوية.



شكل (١٠-١): محدد الاتجاه المرئي

٣-١٠ التكامل في الأنظمة الملاحية

باستخدام أجهزة تحليل البيانات Processor في مجال الملاحة البحرية أصبح من الممكن إدماج واحد مع أكثر من هذه الأنظمة أو المساعدات الملاحية والتي تكون منظومة التحكم الملاحى في السفينة ولما كان

التحكم الأوتوماتيكي قد أصبح سمة رئيسية في معظم أجهزة السفينة سواء ماكينات الدفع الرئيسية أو أعمال البضائع والتحكم في الأجزاء المتحركة الى الأجهزة والمكينات المساعدة فقد أصبح من المناسب إدماج منظومات الملاحة في وحدة متكاملة للتحكم والسيطرة في غرفة القيادة بالسفينة. وتعتمد فكرة التكامل على وجود وحدة رئيسية لمعالجة البيانات Micro Processor وتحصل على البيانات اللازمة عن طريق مستشعرات Sensors في عدد من أوجه التحكم الخاصة بقيادة السفينة وملاحتها. وأصبح من الممكن أن تقوم وحدة المعالجة الرئيسية بتحذير الملاح في حالة عطل أو توقف أحد أجهزة الاستشعار أو وجود خطر يستدعي تنبيه مراقب الملاحة من أجله.

ولقد أصبح أيضاً في الإمكان أن يتم إدماج أنظمة الملاحة الإلكترونية التي تعتمد بصفة رئيسية على استقبال موجات الراديو وتحدد في مستقبل ملاحى رئيسى قادر على توظيف كافة البيانات وعمل جميع القياسات المطلوبة لأنظمة الملاحة المتعددة ويمد كل منها بالمدخلات الرئيسية المطلوبة ويستخرج منها البيانات الملاحية لتحديد المواقع المرصود وخط السير والسرعة والارتفاع. غير أن أحد الفلسفات التي تبنى بسلامة الملاحة قد لا تفضل تجميع كافة أنظمة الملاحة في مستقبل ملاحى رئيسى واحد وإنما تجميع بعض الأنظمة في مستقبلات متكاملة تكامل جزئى حتى يحافظ على نظام للحماية Back-up ونظام التعددية Redundancy.

١٠-٣-١ مستشعرات التكامل للملاحة

حيث أن الهدف من التكامل الملاحى هو زيادة التأمين الملاحى وزيادة الدقة والاعتمادية للنظام المتكامل فإن النظام يتطلب توافر البيانات المناسبة التي نستطيع تحليلها لعطى الموقع المرصود للسفينة والمعلومات الملاحية الأخرى التي تسهل على الملاحين اتخاذ قرارات قيادة وتشغيل السفينة لذا يجب أن يزود النظام المتكامل بعدد من المستشعرات الخارجية التي تستقبل البيانات الأساسية التي يمكنه من تحليل المعلومات الضرورية

وتنقسم مجموعة المستشعرات الى مجموعة تحديد الموقع ومجموعة بيانات الحركة في الماء والمعلومات الخارجية.

أولاً: مجموعة تحديد المواقع

لتحديد الموقع فإن هناك عدد كبير من أنظمة تحديد الموقع سواء تلك التي تعتمد على الأقمار الصناعية أو التي تعتمد على أنظمة الهيبربول والمحطات الأرضية وأنظمة تحديد الموقع بالتصور الذاتي ولا يغيب عن الذهن ونحن في بداية القرن الواحد والعشرين أن أقمار الملاحة جى بى أس وجلوناس لم تلغ أو تنهى نظرياتها وتكنولوجياها أنظمة الملاحة الهيبربول ويؤدى التكامل الى تحسين نتائج كل من الملاحة بالأقمار الصناعية وأنظمة الملاحة بالهيبربول والتغلب على نقائص كل منهما.

ولهما على أنظمة الملاحة التي يمكن تكاملها وتدخل كمستشعر لنظام متكامل تحتوى على التين أو أكثر من هذه النظم:

أ- مستقبل نظام الملاحة بالأقمار الصناعية سواء ذو قناة استقبال واحدة أو ثنائى القنوات وأنظمة الأقمار الصناعية إما أن تكون جى بى أس الأمريكى أو جلوناس الروسى أو إجنوس EGNOS الأوروبى.

ب- مستقبل نظام لوران الأمريكى أو نظام شايفكا الروسى والذى مازال يعمل بكفاءة ويشهد تحديث وتطوير حتى يعمل كنظام بديل (Back-up) خاصة على السواحل الأوروبية الغربية والشرقية وتجرى حالياً جهود كبيرة بين الدول الأوروبية لربط كل من شبكتي لوران وشايفكا لتستمر فى تأدية وظائفهما كنظم تحديد الموقع بالهيبربول.

ج- مستقبلات نظم الملاحة القريبة من الساحل مثل هاي فاس ولامبادا ونظام الستراي سبوندر وسيلاديس والأنظمة القريبة التي تعتمد على الأقمار الصناعية جى بى أس المحلية

منها (LAD) والواسعة الانتشار (WAD)
(Local and Wide Area Differential).

ويمكن إيجاز الخصائص المطلوبة فى أنظمة تحديد الموقع لكى
تكون جزءاً من النظام المتكامل فى الآتى:

- أن يكون النظام قادراً على توفير تغطية شاملة للكرة الأرضية أو
واسع الانتشار والتغطية.
- أن يكون النظام صالحاً للاستخدام تحت جميع الظروف الجوية
بصفة مستمرة.
- أن تكون الدقة المتوقعة من تكامل الأجهزة فى حدود الدقة
المسموح بها لأغراض النظام.
- والأجهزة التى تم استعراضها من قبل يمكنها أن تكون جزءاً من
منظومة التكامل.

ثانياً، مجموعة المركبة

تشتمل هذه المجموعة على البيانات الخاصة بسرعة واتجاه السفينة
مثل:

- أ- أجهزة تحديد خط السير أو بمعنى آخر البوصلات سواء
الجيروسكوبية أو الحقيقية والتى تزود بوسيلة لمعايرة الخطأ أو
الانحراف عن الاتجاه الحقيقى وقد تكون هذه الوسيلة ضمن
المجمع الملاحي الذى يلاشى عيوب وأخطاء الأجهزة
المكونة للنظام المتكامل.
- ب- مستشعرات أو أجهزة قياس السرعة والتى تعمل فى النهاية على
قياس سرعة السفينة الحقيقية ومنها أجهزة قياس السرعة
بالدوبلر أو العدادات الكهرومغناطيسية. ولا يجب أن يغيب عن
ذهننا أن النظام الملاحي بالأقمار الصناعية قادر على تحديد
السرعة بدقة ولكن فى إطار التكامل فإن الفكرة الأساسية
للتكامل تدعو إلى الحصول على البيانات من أكثر من مصدر

- ولذا فإن وجود عداد السرعة عن نظام جى بى أس هو أمر مرغوب.
- ج- أجهزة ومستشعرات قياس درجة الحرارة والملوحة للمياه المحيطة بالسفينة وهي بيانات ضرورية لعمل تصحيحات سرعة الصوت فى المياه لاستخدامها فى معايرة عدادات قياس السرعة أو معايرة أجهزة قياس الأعماق بالصدى.
- د- أجهزة قياس الحركة الذاتية للسفينة فى الماء والتي قد تشمل على قياس قيمة الدرفلة الطولية والدرفلة العرضية ومعدل كل منهما وأجهزة قياس معدل الدوران للسفينة.
- هـ- بيانات أجهزة الرادار وأجهزة الأربا والتي تصور الأهداف المحيطة بالسفينة سواء كانت أهداف ساحلية أو سفن بالقرب منها أو علامات مائية. / وتسهم المعلومات المستخدمة من أجهزة سواء ذات التردد العالى أو المنخفض (١٠ سم، ٣ سم) فى تأمين حركة الملاحة وتشكل جزءا هاما من أنظمة الملاحة التكاملية الشاملة.
- و- أجهزة التوجيه الأوتوماتيكية (Auto Pilot) والتي قد تكون عنصرا هاما فى المجمع الملاحى المتكامل وقد تأخذ أوامرها من بيانات تحديد الموقع وخط السير أو من البيانات الواردة ومن أجهزة الرادار والأربا تعمل لتقائيا فى حركة متناسقة مع وحدة التحكم الرئيسية للنظام المتكامل.
- وبالإضافة إلى هذه البيانات فإن النظام المتكامل قد يشتمل أيضا على وسيلة لعرض المعلومات الملاحية والتقارير الدورية الخاصة بالسفينة أو بحركة السفن أو بالمقاس الجوى أو قنوات الاتصال بالأعلام الاتصالات البحرية.
- وهكذا فإن فكرة التكامل الملاحية قد ترتبط جزئيا بنظام أو أكثر لتوفير معلومات الموقع أو أنها قد تتسع لتشمل بيانات أكثر وتدفق للمعلومات بطريقة أوتوماتيكية بحيث توفر للملاح منظومة معلوماتية

كاملة تساعده على قيادة السفينة بكفاءة وأمان وكذلك المعدات والأجهزة الملاحية التي تتوفر لدى الملاحين.
ويعتبر الحاسب الإلكتروني وحدة المعالجة الرئيسية Main Processor كنصر أساسي في أي نظام ملاحي متكامل إذ أنه ضروري لربط المعلومات المتداخلة في مكونات النظام وعمل التغذية لكل نظام على حدة. كما يقوم الحاسب بتخزين المعلومات الخاصة بخطوط السير والموقع والتحركات التي أجرتها السفينة لاسترجاعها عند الطلب.

١٠-٣-٢ التكامل بين جي بي أس وغلوناس GPS+Glonas Integration

ظهرت الحاجة للتكامل بين النظام الأمريكي جي بي أس والنظام الروسي جلوناس عندما أدخلت الإدارة الأمريكية نظام الإتحادية المختارة (SA) والتي بمقتضاها انخفضت قدرة النظام في التحديد الدقيق للموقع للعديد من المستفيدين في غير الأغراض العسكرية لذلك اتجه المجتمع الدولي والأوروبي على وجه الخصوص في التفكير في استخدام إمكانيات كلا النظامين الأمريكي والروسي في تحديد الموقع وحيث أن كل من النظامين يشتمل على ٢٤ قمراً فإن عدد الأقمار المستخدمة يصل إلى ٤٨ قمراً صناعياً تغطي تغطية شاملة وكاملة للكرة الأرضية ويكون عدد الأقمار المتاحة للرصد من أي مكان على سطح الأرض يزيد عن ١٢ قمراً لهم مواصفات تمكن الراصد من تحديد الموقع بدرجة عالية من الدقة والتغلب على درجة التميع (PDOP) الذي يتعرض لها الموقع نتيجة للتوزيع الهندسي الغير مناسب وثلث الرصد من موقع الراصد.
وسوف تصمم أجهزة استقبال يمكنها استلام وتحليل البيانات من كلا النظامين الروسي والأمريكي سواء باستخدام الترددات العالية (L_1) من كل منهما أو استخدام أربعة ترددات (L_1, L_2) من كلا النظامين وسوف يعمل هذا النظام على التغلب على عدة مشاكل يعاني كل منهما على حدة مثل:
- تحسين الدقة الناتجة درجة التميع (PDOP) أننتاج عن التوزيع الهندسي الضعيف.

- تقليل تأثير الانكسار وتأثير طبقات الغلاف الجوي وتأثير طبقة الأيونوسفير وتأثير طبقة التروبوسفير.
- تحسين أداء النظام Integrity.

١٠-٣-٢-٣ التكامل بين جي بي إس + جلوناس + أقمار الاتصالات جاليليو
Global Navigation Satellite System (GNSS)
تعمل حالياً مجموعة الدول الأوروبية (الاتحاد الأوروبي على إنشاء منظومة ملاحة تعتمد على كلا النظامين الملاحيين الموجودين حالياً وهما جي بي إس (جيباس) وجلوناس. وتستخدم معهما نظام الأقمار الصناعية للاتصالات البحرية (Inmarsat). والسبب في استخدام نظام للاتصالات يرجع إلى انخفاض مقدار الاعتمادية على النظام أو الشمولية (Integrity) ويحدث أحياناً إذا تأثر أحياناً أحد الأقمار الصناعية وحدث خلل ما في التوقيت أو إزاحة في مقدار الترددات المرسلة مما يؤدي إلى إعطاء بيانات للموقع غير صحيحة وهذا ما يتعرض له أي نظام ملاحي بما في ذلك نظم الأقمار الصناعية. ويمكن اكتشاف الخلل أو العطل عن طريق رصد المحطات الأرضية الخاصة بالمتابعة الأرضية ثم إذاعة بيانات وتحذيرات عن استخدام القمر المعطل أو الذي به خلل. وبالمطابق فإن هذه العملية قد تستغرق عدة ساعات حتى يأتي القمر فوق محطات المتابعة أو يدخل في نطاق رصدها ثم تذاع التحذيرات على وسائل الاتصال المناسبة. وكما قلنا فقد تستغرق عدة ساعات قبل أن يكتشف الملاح أو المستخدم لنظام الأقمار الصناعية (Inmarsat-C) لاكتشاف العطل الذي يحدث في أحد الأقمار ثم إذاعة التحذير مباشرة. وقد تستغرق هذه العملية ثوانى معدودة يكون خلالها جميع المستخدمين على دراية بوجود العطل أو الخلل الفني في أحد الأقمار المستخدمة.

١٠-٣-٢-٤ التكامل بين جي بي إس والملاحة بالقصور الذاتي GPS/INS
من الاستخدامات التي تحتاج إلى دقة عالية وبصفة منتظمة خاصة أثناء الحركة هي الملاحة الجوية والمساحة الجوية والتي تتطلب استمرارية

لرصد لخطوط الجوية، وقد يكون من المشاكل الرئيسية لاستخدام جى بى أس هو تعرض إشاراته للفقد إذا كانت ديناميكية جهاز الاستقبال غير مستقرة، وحتى يمكن التغلب على هذه الظاهرة فإنه بالإمكان تكامل نظام جى بى أس مع نظام الملاحة بالتصور الذاتى والذي يمكنه تحديد الموقع ذاتياً دون الاعتماد على إشارات خارجية والذي يعتمد بالقدر الأول على تحليل العجلة التسارعية وكامل السرعة والاتجاه الدقيق لتحديد موقع الراصد فى الأبعاد الثلاثة (3D) بالإضافة إلى السرعة.

يقوم جهاز التساجل Accelerometer بقياس العجلة بالإضافة إلى قوة الجذب بينما يقوم الجايروسكوب بقياس اتجاه هذه المعلومات وبالتالي يمكن حساب السرعة والمسافة وموقع الراصد وهو جهاز مستقل لا يعتمد فى بياناته على إشارات ترد إليه من محطات أرضية أو أقمار صناعية. وبالتالي فإن الـ INS يوفر دقة عالية تعادل الدقة التى يوفرها نظام الأقمار الصناعية جى بى أس خاصة فى المراحل الأولى لبدء التشغيل Initialization كما يمكنه تحديث البيانات Update.

وقد تكون أكبر مشاكل نظام التصور الذاتى هو الخطأ المتجمع Accumulated Error والناتج عن الإزاحة Drift الناتجة عن الجايروسكوب إذا ترك الجهاز بدون تصحيح، وبذلك فإن تكامل كل من INS وGPS يكمل كل منهما الآخر.

عيوب النظام الذاتى كما يغلب على عيوب انقطاع الإشارة إذا كانت ديناميكية الراصد غير منتظمة (Attitude).

فى حين يوفر نظام جى بى أس بداية المعلومات السليمة Initialization للنظام الذاتى INS فإن النظام الذاتى يطفى افتراضات التى تكون فيها الأقمار الصناعية بالنسبة للراصد ليست فى أحسن موضع هندسى لها.

GPS/LORAN-C

١٠-٢-٥ التكامل بين جى بى أس ونظام لوران-سى

مما لا شك فيه أن التكامل بين كل من لوران-سى ونظام الأقمار الصناعية جى بى أس كل منهما يحسن من أداء الآخر، ولكن خصائص نظام لوران تختلف عن خصائص الـ جى بى أس، فانتشار إشارات لوران لها سرعة وتغير

بإختلاف الوسط الذى تسير فيه الإشارة على سطح الأرض ولذلك فإن تصحيح المسار يتم عن طريق النمذاج الرياضية لأجهزة الاستقبال والتي عادة تكون غير دقيقة لعدم معرفة السرعة الدقيقة وعندما يختلف الوسط نتيجة للاختلاف البصرالى للمنطقة أو الاختلاف الموسمى لظروف المنطقة وبالتالي فإن استخدام بيانات نظام الأقمار الصناعية سوف يساعد على استخدام نموذج أكثر دقة فى تحديد سرعة الانتشار. أما الاقبحاء الذى يمكن أن يستفيد منه نظام الأقمار الصناعية من نظام لوران-سى فإنه يمكن فى تحسين الدقة الناتجة عن التمتع فى دقة الموقع (DOP) ويظهر بوضوح عندما تكون الأقمار الصناعية الموجودة فى سماء الراصد غير مناسبة من حيث ارتفاعها الزاوى أو من حيث تشكيلها الهندسى لتوفير موقع دقيق. ومن أكثر شبكات لوران تكاملا مع نظام جى بى أس هي شبكة (NELS) North European Loran-C Station والتي تغطى شمال أوروبا والتي يمكن بالإضافة إلى بث إشارات لوران بث التصحيحات الفرقية لنظام جى بى أس ومتابعة الأقمار للتأكد من صحة النظام للاستخدام Integrity.

١٠-٢-٦ النظام بين AIS والأريا والجو بى أس

فى الأماكن المزدحمة بحركة السفن مثل الممرات الملاحية والأنهار والموانئ تصبح الحاجة إلى نظام التتبع الآلى شديدة وملحة ونظرا لوجود أهداف أرضية وثابتة كثيرة بالإضافة إلى الحركات البحرية العديدة فى مناطق العمل البحرى يكون من الصعب الاعتماد على جهاز الأريا (جهاز التوقيع الآلى للرادار) حيث يعتبر كلفا لضمان رصد كلفة التحركات بدقة وبسرعة؛ ففى حين لا يستطيع جهاز الأريا تحديد مكان السفينة التى تختفى فى أماكن الانحناء من النهر أو الممر الملاحى، فإنه يمكن رصد بياناتها بواسطة نظام التعرف الآلى ويمكن تحديثها بصفة دورية بصرف النظر عن ندرة جهاز الرادار فالسفينة الموجودة فيها جهاز التعرف سوف تمكن جميع السفن فى المنطقة من معرفة بيانات السفن الأخرى مما يساعد بدرجة كبيرة فى تفادى التصادم.

كما أن أهداف السفن تظهر على شاشات الرادار والأرّيا ليس فقط كقطة أو شرطة مضئة وإنما يمكنها أن تأخذ شكلا يحدد نوع السفينة ويحدد أيضا وجهتها أي مقدمها ومؤخرها مما يساعد كثيرا في تحديد المناورة المناسبة لتفادي التصادم.

ويمكن إيضاح مميزات نظام التعرف الآلى فى العوامل التالية:

- يمكن بث بيانات السفينة آليا بوضوح على أجهزة الرادار لمحطة خدمة مرور السفن أو السفن المحيطة.
- لا تتأثر بالظروف والعوامل الجوية المحيطة.
- يمكن بث معلومات إضافية بالإضافة إلى إحداثيات الموقع مثل خط السير ومعدل الدوران ونوع وكميات البضاعة ووقت الوصول (ETA) وأبعاد السفينة.
- يمكن استقبال بيانات السفن من مسافات خارج نطاق تغطية الرادار البحرى.
- يمكن بث العديد من المعلومات أو التحذيرات أو أي إشارات يراد بثها.
- يمكن استخدام النظام على أجهزة متنقلة لخدمة المرشدين فى أماكن تواجدهم فى أحد أجناب غرفة القيادة.
- تخفيض حاجة إلى الاتصال الصوتى بين السفينة وبين مراكز المراقبة البحرية.
- زيادة معامل الأمان فى ملاحة السفن.

٣-١٠ نظام إرابط المعلومات الإلكترونية

Electronic Charts Display Information System (ECDIS)

تعتبر الخرائط الإلكترونية نتاج للتكامل الملاحى بين عدد من أجهزة الاستشعار لتحديد الموقع وصورة الرادار والمعلومات الملاحية المسجلة على الخرائط البحرية لإنتاج جهاز عرض شامل يسمى إكدس أو الخرائط الإلكترونية. ولقد مرت الخرائط الإلكترونية بعدة مراحل

للتطوير والتحديث وتبادل الرأي بين السلطات المسؤولة عن المسح البحري وإنتاج الخرائط البحرية والتي تمثلها المنظمة الدولية للمسح الهيدروغرافي (IHO) وبين المنظمة البحرية الدولية (IMO) وبين العديد من الشركات المنتجة لأجهزة تحويل الخرائط الورقية إلى رقمية على شاشات العرض الإلكتروني.

والخريطة الإلكترونية هي وسيلة عرض لكافة المعلومات الملاحية التي تؤمن سير وملاحة السفينة وتغطي الملاح صورة واضحة عن المؤلف المحيط بالسفينة وتسمح له بعمل تجارب لخطوط السير وتخطيط الرحلات واستعادة بيانات الرحلة فيما بعد.

ولقد أصدرت مؤخراً المنظمة البحرية الدولية المواصفات الفنية لإنتاج وعرض الخرائط الإلكترونية والتي توضح كافة المعلومات الملاحية بالرموز والأشكال المتعارف عليها بين الملاحين حتى لا تسمح بوجود احتمال لخلط أو لبس بين معلومات الملاحين عند استخدام الخرائط المعروفة والعرض الإلكتروني الجديد على أجهزة العرض الإلكترونية. ولقد صدرت أيضاً تعديلات الاتفاقية الدولية سلامة الأرواح باعتبار الخرائط الإلكترونية مماثلة للخرائط الورقية فيما تحتويه من بيانات ومعلومات من الوجهة القانونية وبذلك تكون المنظمة البحرية الدولية قد أطلقت العنان لمنتجى هذا النوع من الخرائط لإنتاج أفضل ما أفرزته التكنولوجيا الحديثة لعرض بيانات الخرائط وفقاً لمعدلات أداء معينة تم ذكرها تفصيلاً ونشرها على السلطات المسؤولة والمنوط بها إصدار الخرائط في الدول البحرية.

١٠-٣-١ مكونات نظام الخرائط الإلكترونية

يتكون نظام معلومات الخرائط الإلكترونية من الأجزاء التالية:

أولاً: الحاسب الآلي

يعمل الحاسب الآلي ذو السعة العالية على إنهاء كافة العمليات
البيانية والحسابية اللازمة لعرض بيانات الخريطة ويستخدم ذاكرة
مصورة (Graphic) ويستغرق تميز الصور في الحاسب فترة زمنية
قصيرة.

ثانياً: المبيانات المرفقة

هي المبيانات التي تظهر عليها المعلومات المسجلة على الخرائط
وكذا خط السير وموقع السفينة أثناء الإبحار وسرعة السفينة وحسابات
المسافة المقطوعة والأعمالي المحيطة بمكان السفينة.

Chart Memory

ثالثاً: وحدة تخزين الخرائط

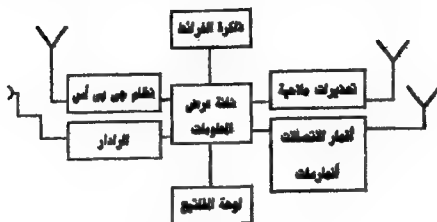
لقد تم ترجمة الخرائط الورقية إلى خرائط إلكترونية رقمية في معظم
أجزاء العالم واستخدمت في ذلك إحدى طريقتين: الأولى وهي
طريقة (RASTER) وتستخدمها هيئات المساحة في إنجلترا والنرويج
وكندا والثانية وهي طريقة (VECTORIAL) التي يتبعها عدد كبير
من الشركات المنتجة. وتتميز الطريقة الأولى في أنها تنقل جميع
المعلومات الموجودة على الخريطة الورقية من خطوط الساحل
وخطوط الأعماق والمعلومات للملاحة وكل ما هو مبين على
الخريطة يتم نقلها على شغالة واحدة أو على سطح واحد. أما
بالطريقة الثانية فيتم نقل البيانات الرقمية من الخريطة في صورة
طبقات Layers كل منها يحمل جانب من المعلومات مثل خطوط
الساحل ثم طبقة لخطوط الأعماق ثم طبقة للأعلامات والمعلومات
الملاحة وطبقة أخرى للإحداثيات الجغرافية، وكل من الطريقتين
معتمدتان من المنظمة البحرية الدولية. وتسجل هذه الخرائط على
أقراص مغطنة (Compact Disk) ذات سعة عالية جداً يمكن لكل

واحدة منها أن تحتوي على عشرات الخرائط أو على خرائط منقطة إبحار كاملة في تسلسل ملاحى منطقي بحيث تتواصل الخرائط مع بعضها حسب خطوط السير كما هو متاح في كتالوج الخرائط البحرية.

رابعاً: نظام تصحيحات الخرائط Chart Corrections

يتاح لنظام الخرائط الإلكترونية تصحيح وتعديل البيانات الواردة بها وفقاً للتغييرات الفعلية التي حدثت لمسح بعض المناطق ويتاح لنظام الخرائط الإلكترونية إدخال التصحيحات اللازمة بعدة طرق منها الطرق اليدوية التي يقوم فيها الملاح بإدخال بيانات التصحيح التي ترد إليه عن طريق منشورات الملاحين المطبوعة أو المتقولة على الأقراص الممغنطة (CD) والتي تملأ بالطرق البرمجة العادية أثناء وجود السفينة بالميناء أو عن طريق الاتصال المباشر بين السفينة وبين الأعلام الصناعية الجيل الثالث منها (C Immarsat) والذي يسمح بتصحيح المعلومات تلقائياً دون أن تتأثر أعمال الرحلة أثناء التشغيل، وأخيراً يمكن الحصول على التصحيحات عبر وسائل الاتصال اللاسلكية (RT) أو الفاكسيلي ويقوم الملاح بإدخالها على قاعدة البيانات على الخريطة الإلكترونية.

ويسمح نظام الخرائط الإلكترونية أن يتكامل مع أنظمة الملاحة الإلكترونية وأن يتلقى بيانات موقع السفينة مباشرة من نظام جي بي إس أو أنظمة مماثلة لتحديد وتحديث موقع السفينة تلقائياً. كما يسمح النظام باستقبال خطط السير من اليوصلات الحقيقية وعدادات السرعة والمسافة. ويوضح الشكل (١٠-١١) نموذج لتكامل الخريطة الإلكترونية مع أنظمة تحديد الموقع والرادار.



شكل (١٠-١١): وحدات الخريطة الإلكترونية

كذلك أصبح من الممكن أن تتكامل المعلومات التى تحصل عليها من جهاز الرادار مع الخريطة الإلكترونية ونفس مقياس الرسم بين الرادار والخريطة بحيث تتطابق كل من الصورة الرادارية مع صورة الخريطة، وهذا التكامل يجعل من الممكن بيان حركة السفن المحيطة بالسفينة الراصدة وأن تنتقل أعمال مراقبة الرادار إلى مراقبة الخريطة، ويمكن عن طريق الأربا أن يستنتج الملاح البيانات المتعلقة بالمناورات المناسبة لتفادى التصادم لعدد كبير من السفن المحيطة به كما يمكن أيضاً استشعار مكان البيكونات الرادارية وأمكن أيضاً عند نقل صورة الرادار إلى شاشة عرض الخريطة الإلكترونية حذف أو تظليل الوهج الذى تحدثه أصدااء الرادار المرتدة من الأرض والاكفاءة فقط بتحديد خط الساحل من الرادار حتى ينطبق على خط الساحل بالخريطة كما أمكن أيضاً تقليل مقدار تشويش البحر والمطر حتى يظل موقع السفينة واضحاً ويظهر أثره البياني وفقاً لمستشعرات تحديد الموقع مثل جى بى أس أو أي نظام إلكترونى لتحديد الموقع.

١٠-٣-٢ تخطيط الرحلة مع الفريضة الإلكترونية Voyage Planning

قد يكون من أهم خصائص الخرائط الإلكترونية إمكانية التخطيط المسبق والمتابعة أثناء الرحلة وأخيراً استرجاع المعلومات وفقاً للاختيارات المتاحة التالية:

أولاً: التخطيط المسبق

التخطيط المسبق للرحلة هو المرحلة التي يتم خلالها تحديد خطوط السير وبيان أماكن تقعر خط السير والسرعة وتحديد الأماكن المزدحمة أو الأماكن التي يزداد فيها معدل الخطر سواء الناتج عن حركة المرور أو التنبؤ المكانية وتخطيط المسار وفقاً للمسارات الموحدة للسفن ومناطق فصل حركة المرور Traffic Separation Schemes وحساب المسافات والسرعات والأوقات التي تستغرقها الأجزاء المختلفة من الرحلة، ويتم خلال عملية التخطيط بيان وتسجيل المعلومات المطلوبة لكل مرحلة ومتى يمكن استدعاء الریان أو استقبال وإرسال الرسائل اللاسلكية سواء لإدارة الشركة أو لمحطات الوصول ومواعيد وأماكن إرسال التقارير الخاصة بأنظمة خدمات المرور البحري (VTS). كما يمكن للملاح أن يعمل التجارب المناسبة للمناورات بطريقة المحاكاة للدخول إلى الموانئ والممرات الملاحية والفترض خطوط السير والسرعات المطلوبة لكل مناورة وتسجيلها للاسترشاد بها عند الاقتراب من هذه المناطق.

ثانياً: مرحلة المتابعة أثناء الرصد Monitoring

يمكن للملاح أثناء الرحلة أن يقارن بين الظروف الموجودة بالفعل و تلك التي افترضها أثناء عملية التخطيط ويمكن أيضاً للملاح أن يعرض في نفس الوقت في جزء جانبي من شاشة العرض الخطوات التخطيطية للرحلة ومقارنتها بواقع الرحلة، وقد تساعده البيانات التي تم تسجيلها عن المناورات عند دخول الموانئ والممرات الملاحية

لاتباعها عند الوصول إلى هذه المناطق ومن الطبيعي فإن خطة الرحلة لا تعارض مطلقاً مع وقائع الرحلة نفسها.

ثالثاً: مرحلة استرجاع بيانات الرصد Retrieving

بعد انتهاء الرحلة سيكون لدى الملاح سجلاً كاملاً لوقائع الرحلة التي تمت ويمكن استرجاعها وإعادة عرضها في الوقت الحقيقي لها أو يمكن تقديمها أو تأخيرها للأمام أو للخلف لعرض فترة زمنية معينة حيث يمكن للملاح مراجعة مواقع وخطوط السير والمناورات التي تمت بالسفينة سواء لتجنب التصادم أو لتفسير خطوط السير أو الدخول إلى الموانئ والممرات الملاحية. وبالتالي فإن الخريطة الإلكترونية سوف تعمل عمل الصندوق الأسود الذي اقترح العمل به في فترة زمنية سابقة على غرار الصندوق الأسود بالملاحة الجوية والذي يمكنه استرجاع بيانات ومسارات الرحلة في حالة الحوادث البحرية لمراجعة سلامة الإجراءات التي اتبعها الريان في المواقف التي واجهتها السفينة. وقد تكون خاصية التخزين والاسترجاع من أهم خصائص التخطيط حيث يمكن الاستفادة من التصرّفات والإجراءات التي حدثت أثناء الرحلة ويمكن للسفينة حفظ المسار القديم للرحلة أو على ديسكات متقلة وعمل سجل شامل لرحلات السفينة أو تخزين جزء منها لفترة قصيرة، وهكذا سوف يتعامل الملاح مع السجل السابق للرحلة كما يتعامل مع أي بيانات يتم تخزينها على الكمبيوتر وفقاً لسعة الكمبيوتر المستخدم.

٣-٣-١٠ معايير الأداء لنظام معرف الخرائط الإلكترونية ECDIS Standards

قامت المنظمة البحرية الدولية بالاشتراك مع المنظمة الدولية للمصح الهيدروغرافي (IHO) بوضع المواصفات الفنية اللازم توافرها عند إنتاج أجهزة عرض الخرائط الإلكترونية وفقاً للمعايير التالية:

أولاً: متطلبات عامة

- أ- الوظيفة الأساسية لإكدس (ECDIS) هي المساهمة في تأمين سلامة الملاحة.
- ب- لتتبر إكدس مع الأجهزة والمعدات الملحقة بها معادلة لمتطلبات الخرائط الواردة في الاتفاقية الدولية لسلامة الأرواح "سولاس".
- ج- يجب أن تكون إكدس قادرة على عرض جميع معلومات الخرائط اللازمة للملاحة الآمنة والتي تصدرها مكاتب المسح البحري المعتمدة في الدول المعنية.
- د- يجب على الخرائط الإلكترونية أن يكون بإمكانها تعديل وتحديث البيانات الملاحية بها بطريقة سهلة وسريعة ومعتمدة.
- هـ- يجب أن تكون أجهزة عرض الخرائط الإلكترونية قادرة على تخفيف الأعباء الملاحية للملاحين في تحديد الموقع بطريقة ملائمة وإجراء عمليات تخطيط المسار الملاحين.
- و- يجب تزويد الخرائط الإلكترونية بوسيلة للتحذير والإنذار للبيانات الخطأنة أو عندما تشغل أحد الأجهزة المتصلة بها أو عندما توشك الخريطة الإلكترونية المعروضة على الانتهاء، كما يمكن توصيل الإنذارات الصوتية والعربية الصادرة من جهاز عرض الخرائط الإلكترونية مع شبكة الإنذار العامة بالسفينة حتى لا يمكن تجاهل الخطر.

ثانياً: تزويد وتحديث معلومات الخرائط الإلكترونية

- أ- تزود الخرائط الإلكترونية بوسيلة تمكنها من الحصول على أحدث المعلومات والتحديثات والتصحيحات التي طرأت على المنطقة التي تشملها الخريطة.
- ب- يجب أن تكون البيانات مناسبة وتتوافق مع متطلبات معاهدة سلامة الأرواح كما يجب أن تكون بالخرائط وسيلة مناسبة لتعديل أو تغيير بياناتها أو المعلومات المخزنة بها.

- ج- يجب أن تتوافر وسيلة لإضافة التحديثات إما مباشرة إلى الخريطة الإلكترونية أو إلى قاعدة البيانات الخاصة بها.
- د- يجب أن تكون الخرائط الإلكترونية قادرة على استقبال المعلومات الجديدة بطريقة أتماتكية دون أن تتداخل هذه المعلومات مع البيانات المعروضة ولا الاستخدام وأن يكون الملاح قادراً وبطريقة يسهلة على حذف وتعديل وتغيير البيانات القديمة بتلك التي ترد إلى مجمع الخريطة الإلكترونية وبالطبع يجب أن يكون هناك ذاكرة لحفظ تاريخ ووقت إدخال هذه البيانات.

ثالثاً: مقياس الرسم

فيما يختص بمقياس الرسم فإن الخرائط الإلكترونية يجب أن تكون قادرة على تعديل مقياس الرسم وفقاً لمستوى المقياس المعمول بها في الخرائط الورقية كما يمكن تكبير نقطة معينة (Zooming) مع بيان معلومات أكثر وأوضح من تلك التي في المقياس الأصغر. غير أنه يجب أن تتوافر في الخرائط الإلكترونية وسيلة للإنذار أو التحذير إذا كانت المعلومات الموضحة على شاشة العرض أكبر من مقياس الرسم المختار. كما يجب أن يكون الرمز الدال على السفينة مناسباً في الحجم بحيث لا يغطي أو يحجب بيانات ومعلومات هامة على الخريطة.

رابعاً: تكامل الخريطة الإلكترونية مع الأجهزة الملاحة الأخرى

يمكن إضافة المعلومات المستخرجة من جهاز الرادار أو أي من الأجهزة الملاحة الأخرى سواء أجهزة التوقيع مثل الأقمار الصناعية أو أجهزة المتابعة مثل الأربا إلى شاشة الخريطة الإلكترونية ويجب أن يكون في الإمكان التمييز بين البيانات الموجودة أصلاً في الخريطة الإلكترونية وبين البيانات والمعلومات المضافة عن طريق أجهزة ملاحة إضافية.

وفى هذا الموضوع يجب على كل من الخريطة الإلكترونية والأجهزة الملاحة المضافة أن يكونوا عاملين على أساس واحد ومقياس رسم متطابق، وإذا كان مقياس الرسم والبيانات ليست متطابقة فإنه يجب على الخريطة الإلكترونية أن تقوم بتقدير الملاح من أوجود هذا الاختلاف فى أساس التوقيع أو موقع إسناد (Common Reference).

خامساً: تكامل الخريطة مع الرادار

- أ- يمكن تمثيل بيانات الرادار من حيث صورة وشكل المنطقة المحيطة والأهداف المرصودة إلى شاشة الخريطة الإلكترونية كما يمكن أيضاً نقل بيانات وصورة الأربا إلى شاشة الخريطة الإلكترونية.
- ب- عند إضافة صورة الرادار إلى شاشة الخريطة الإلكترونية يجب أن يكون كل من الصورتين المشتقة من بيانات الخريطة الإلكترونية ومن الرادار بنفس مقياس الرسم ونفس الاتجاه (مقدم السفينة لأعلى أو الشمال لأعلى) (Ships-Head-up or North-Head-up).
- ج- يجب أن تتطابق صورة الرادار على المواقع التى يحصل عليها الملاح من أجهزة تحديد الموقع الأخرى، كما يجب أن يكون فى الإمكان تعديل وضبط مكان السفينة يدوياً حتى تتطابق صورة الرادار على شاشة الخريطة الإلكترونية وإضافة صورة الرادار على شاشة الخريطة بسهولة ويجب عند الضرورة الفصل بين الرادار والخريطة بحركة واحدة وسهلة.

Colours and Symbols

سادساً: الألوان والعلامات والرموز

فيما يختص بالرموز والألوان فقد وضعت المنظمة الدولية للمسح الهيدروغرافى (IHO) قائمة بالرموز التى يجب على الشركات المنتجة للخرائط الإلكترونية استخدامها كما وضعت أيضاً قائمة

بالألوان المختارة، وفيما يختص بالرموز فيجب عند إضافتها أو إيضاحها على شاشة الخريطة الإلكترونية أن يكون حجمها مناسباً لمقياس الرسم الذي توضع به الخريطة كما حددته المنظمة الدولية للمسح الهيدروجرافى، وللملاح البحرية فى اختيار الرسم أو الرمز الذى يمثل مكان السفينة وإذا كان رمزاً Symbol فيجب أن يمثل بمقياس رسم مناسب لشكل وحجم وطول السفينة.

سابقاً: تخطيط المسار وتسجيل الرسم Route Planning

يجب أن تتوافر الشروط التالية فى أجهزة عرض الخرائط لأغراض التخطيط الملاهى وتخطيط المسار وتسجيل البيانات:

- أ- إجراء عمليات التخطيط والمراقبة بطريقة سهلة وأكيدة.
- ب- أن يكون من الممكن إجراء عمليات التخطيط فى القطاعات المستقيمة والمنحنية.
- ج- يمكن إضافة نقاط محورية Way Points على المسار أو إلغائها أو تغيير مواقعها أو تعديل تسلسلها.
- د- أن يكون بالإمكان تخطيط مسار بديل مع تميزه عن المسار الأصلى.
- هـ- يجب عند مراقبة المسارات أن يظهر المسار المختار وموقع السفينة عندما يغطى العرض هذه المنطقة.
- و- يجب أن تكون أجهزة العرض قادرة على التسجيل واسترجاع بعض المعلومات لتصحيح المسار والتأكد من صحة قاعدة البيانات المستخدمة خلال الـ ١٢ ساعة الماضية على التسجيل.
- ز- يجب أن يكون بالإمكان حفظ البيانات السابقة للرحلة بدون تغيير المعلومات المسجلة عليها.

١٠-٢ نظام التعرف الآلي Automatic Identification System (AIS)

نظام التعرف الآلي للسفن هو نظام يجمع كل من السفن في منطقة معينة وبين مراكز خدمة المرور البحري (VTS) التي تغطي تلك المنطقة، ومن خلال النظام يمكن لمراكز الخدمة التعرف آلياً على بيانات السفن وشكلها وحمولتها ووجهتها وخط سيرها وسرعتها بصفة مستمرة. وقد أثبت هذا النظام فائدته العظيمة للمناطق التي تتميز بحركة وكثافة مرور عالية لسفن متعددة الحمولات والأحجام والسرعات سواء كانت تعمل وفقاً لجدول زمني أو تدخل وتخرج من منطقة إشراف (VTS) بصورة عشوائية، كما يمكن ربط هذا النظام ليس فقط مع السفن ولكن أيضاً مع جميع العالقات البحرية والأهداف الحيوية على الساحل أو في مناطق الاقتراب من الموانئ مثل الحطام أو منصات البترول.

ويتكون نظام التعرف الآلي من وحدة إرسال تثبت على السفن المشتركة في النظام (Transponder)، تعمل هذه الوحدة على الترددات العالية (VHF) من النافذة البحرية. هذه الوحدة قادرة على بث بيانات التعرف بالسفينة وتشتمل على إحداثيات الموقع المستخرجة من نظام الأقمار الصناعية (GPS) وخط السير وسرعة السفينة ثم أبعاد السفينة مثل الطول والعرض والفاطس، وأيضاً يمكنها بث بيانات عن نوع السفينة ونوع وكمية البضاعة التي تحملها. هذه البيانات يتم بثها تلقائياً لتشغيلها كل من مراكز خدمة السفن الموجودة على الساحل وفي مداخل الموانئ والممرات البحرية أو السفن المحيطة التي تعمل على النظام وفي محيط انتشار الترددات العالية جداً (VHF).

ويمكن للنظام أن يتعامل مع أكثر من ٢٠٠٠ تقرير للبيانات في الدقيقة الواحدة في منطقة التغطية كما أنه بالإمكان تحديث المعلومات وبيانات السفينة (Update) مرة كل ثانيتين، ويتبع في ذلك منظم زمني دقيق ذو تقسيم فعال في إدارة حركة بث وتحديث البيانات.

وتعمل وحدات البث التلقائي بصفة مستمرة ولا تتأثر بالأحوال الجوية أو ظروف الرؤية؛ وبصرف النظر عن وجود السفن في منطقة معينة فإن إشاراتها سوف ترسل بصفة مستمرة كل ثانيتين وعندما يتم استقبالها بواسطة محطة (VTS) أو سفينة أخرى بالقرب منها فإنه يتم التعرف عليها ومعرفة بياناتها.

١٠-٥ نظام المعلومات الجغرافي GIS

نظام المعلومات الجغرافي هو نظام التصوير ونقل المعلومات الجغرافية الحقيقية وتسجيلها لاسترجاعها للعرض أو الدراسة المتكاملة مع البيانات التي تتعلق بمنطقة جغرافية محددة.

ويعتمد النظام على حاسبات قادرة على رصد وتخزين وتحليل واسترجاع البيانات والمعلومات بطريقة متجانسة مع خرائط إلكترونية دقيقة للمكان الجغرافي المراد توثيقه.

وللحصول على المعلومات الجغرافية تستخدم مصادر متعددة مثل خرائط الطرق والخرائط الجغرافية والصور المسجلة وتسجيلات فيديو أو شرائط سينمائية، وعندما يتم تجميع هذه البيانات يمكن فصل بياناتها على شغلات أو طبقات (Layers) كل منها يغطي معلومات محددة وفقاً لاحتياجات المستخدم (User)، ولأن البيانات الجغرافية تحتاج إلى تحديد دقيق للموقع الذي يتم وضعه أو تحديده بياناته، فإن نظام المعلومات الجغرافي (GIS) يعتمد في ذلك على منظومة أتمار صناعية لتحديد الموقع؛ ويستخدم حالياً نظام جي.بي.أس في رصد وتسجيل بيانات المواقع في قاعدة بيانات تفصيلية Data Base يمكن استرجاعها من منظور مختلف أو زوايا رصد متعددة.

المراجع

أولاً: المراجع العربية

- ١- محمد يوسف طه ومصطفى عبد العزيز، الملاحة الساحلية، منشأة المعارف بالإسكندرية ١٩٩١.
- ٢- محمد سعيد بلبع، التعريف بالنظام العالمي وتحديد الموقع باستخدام الأقمار الصناعية، مجلة مركز البحوث والاستشارات البحرية ١٩٩٠.
- ٣- محمد عبده عباسي، منظومة تحديد الموقع العالمية، مجلة الجمعية العربية للملاحة ١٩٩٥.
- ٤- محمد سعيد بلبع (٢٠٠١)، النظام الأوروبي للملاحة بالأقمار الصناعية Galileo، مجلة الجمعية العربية للملاحة العدد ١٦ ص ص. ١-١٠.
- ٥- رفعت محمد رشاد (١٩٩٦)، الملاحة الإلكترونية، منشأة المعارف.

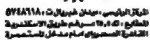
قائمة المراجع العلمية

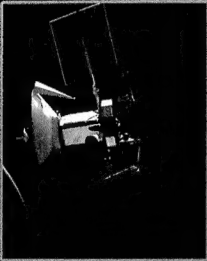
- 1- ADMIRALITY MANUAL, Hydrographic Surveying, Vol. Two.
- 2- ADMIRALITY MANUAL, Navigation, Vol. One, HMOB. UK.
- 3- ASHKENAZI, V., 1996. "Principle of GPS and Observables" Lecture Notes, IESSG, University of Nottingham.
- 4- DAVID WELLS, Guide to GPS Positioning. Canadian GPS Association.
- 5- HOFMANN- WELLENHOF B. LICHTENEGGER H., COLLINS J. 1993 "GPS Theory and Practice".
- 6- INGHAM A.E., Hydrographic for Surveying and Engineering.
- 7- LAURILA, SIMO H., Electronic Surveying and Navigation, John Wiley & Sons.
- 8- L.TETLEY, D. CALCUTT, Electronic Aids to Navigation, Edward Arnold.
- 9- REFAAR RASHAD, Landfall to the Egyptian Coasts & Navigational Aids. Journal of the Arab Maritime Transport Academy Vol. 5 No 9.
- 10- SONNENBERG, Radar and Electronic Navigation.
- 11- STEIN WL, (1986), NAVSTAR Global Positional System- Status and Plans.
- 12- Trimble Navigation, 1992. GPS Surveyors Field Guide "A Field Guidebook for Dynamic Surveying".
- 13- Trimble Navigation, 1991. GPS Surveyors Field Guide "A Field Guidebook for Static Surveying".
- 14- WALSH, D.M.A 1994 "Kinematic GPS Ambiguity Resolution, Ph.D. Thesis, IESSG, University of Nottingham.

قائمة المختصرات

AIS	Automatic Identification System
AIS	Automatic Information System
AS	Anti Spoofing
C/A	Clear Acquisition
CAS	Control Access Service
CPA	Closest Point of Approach
DGPS	Differential Global Positioning System
DOP	Dilution of Precision
ECDIS	Electronic Charts Display Information System
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlays Services
EPIRB	Electronic Positioning Indicator Radio Beacon
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GRJ	Group Repetition Interval
HEO	High Earth Orbit
IC	Integrated Circuits
ILS	Instrument Landing System
INMARSAT	International Maritime Satellite
INS	Initial Navigation System
ITS	Intelligent Transport System
LAD	Local Area Differential GPS
LEO	Low Earth Orbit
LOP	Line of Position
MCS	Master Control Station
MEO	Medium Earth Orbit
OCS	Operational Control Segment
PPS	Precise Positioning Service
SA	Selective Availability
SLR	Satellite Laser Ranging
SPS	Standard Positioning Service
TD	Time Difference
td	time delay
VHF	Very High Frequency
WAAS	Wide Area Augmentation System
WAD	Wide Area DGPS

727/35





منشأة الشهابي للطباعة والنشر

الإسكندرية ت ٥٧٨٦١٨



المؤلف

الدكتور الريان / رفعت رشاد ، أستاذ الملاحة الإلكترونية بالأكاديمية العربية للعلوم والتكنولوجيا والنقل البحري ورئيس قسم الدراسات العليا البحرية بها والأستاذ المشارك بكلية علوم البحار بجامعة الملك عبد العزيز بجدة سابقاً .
تخرج المؤلف من الكلية البحرية التجارية عام ١٩٦٣ وعمل ملاحاً بالسفن التجارية وحصل على شهادة ريان أعالي البحار عام ١٩٦٩ ثم عمل بالأكاديمية العربية للعلوم والتكنولوجيا والنقل البحري منذ عام ١٩٧٣ .

حصل على درجة البكالوريوس في التكنولوجيا البحرية من جامعة ويلز بإنجلترا عام ١٩٧٦ ثم الماجستير عام ١٩٧٨ والدكتوراه عام ١٩٨٣ من نفس الجامعة .

عمل خبيراً لدى المنظمة IMO البحرية ومديراً لتنسيق التعليم ورئيساً لقسم الدراسات العليا البحرية بالأكاديمية العربية للعلوم والتكنولوجيا والنقل البحري ، وهو أحد مؤسسي الجمعية العربية للملاحة ورئيساً لها منذ عام ٢٠٠١ وزميل الجمعية الملكية البريطانية للملاحة بلندن وعضو لعدد من الجمعيات العلمية والثقافية والاجتماعية .

والله اعلم
قدم لقرائه هذه الطبعة من كتاب الأقمار الصناعية للملاحة الإلكترونية متمنياً لهم المزيد من النجاح والتفوق .